அணுவைப் பற்றி

வெளியிடுவோர்:
பம்பாய்த் தமிழ்ச் சங்கம்
பம்பாய்-22

அணுவைப் பற்றி

ஆக்கியோர் :

விஞ்ஞானத் தமிழ் வளர்ச்சிக் கழகம், பம்பாய்

வெளியிடுவோர் :

பம்பாய்த் தமிழ்ச் சங்கம்

பம்பாய்–22

In Humble Homage to His Pioneering Efforts for Establishing a Sound Base for Atomic Research in India We Dedicate this Book to

Dr. HOMI J. BHABHA, F.R.S.

இந்தியாவில் அணு ஆராய்ச்சிக்கு வித்திட்டு
அணு சக்தித் துறையைப் போற்றி வளர்த்து,
இந்திய அணு விஞ்ஞானிகளுக்கு முன்னோடியாக விளங்கிய

டாக்டர் ஹோமி ஜே. பாபா, F.R.S. அவர்களுக்கு

இப்புத்தகத்தைப் பணிவுடன் சமர்ப்பிக்கின்றோம்.

பொருளடக்கம்

			பக்கம்
	அணிந்துரை	...	ix
	நூன்முகம்	...	xiii
	நன்றி	...	xv
1.	அறிமுகம்	...	1
2.	அடிப்படை —எஸ். எச். சுப்ரமணியன், து. கிருஷ்ணன்	...	6
3.	அணு —தி. நா. ரங்கராஜன்	...	25
4.	அணுஉலை—பௌதிகம் —எஸ். சங்கரநாராயணன், கே. ஆர். சீனிவாசன்	...	70
5.	அணுஉலை—பொறியியல் —வ. வெங்கட்ராஜ், சி. வி. அனந்தசயனம்	...	.93
6.	அணுஉலை—அளவிடு கருவிகள் —ஹா. ராமமூர்த்தி	...	122
7.	அணுஉலை—கட்டுப்பாடு —ஹா. ராமமூர்த்தி	...	146
8.	அணுஉலை—பொருள்கள் —வ. வெங்கட்ராஜ்	...	169
9.	அணுஉலை—சாதனங்கள் —வ. வெங்கட்ராஜ், எஸ். ராமச்சந்திரன்	...	190
10.	அணுஉலை—எரிபொருள் —வெ. அ. சந்திரமௌளி, எஸ். கே. காந்தன்	...	203
11.	அணுமின்சக்தி —ஹா. ராமமூர்த்தி	...	228
12.	அணுக்கதிர்—தற்காப்பு —க. ச. வ. நம்பி, ல. வெ. கிருஷ்ணன், து. கிருஷ்ணன்	...	237
13.	அணுக்கதிர்—உயிரியல் —கே. ஜி. ராகவன்	...	264
14.	அணுக்கதிர்—ஐஸோடோப்புகள் —தி. நா. ரங்கராஜன், எஸ். ஜெயபாரதன்	...	300
15.	அணு ஆயுதங்களும் அவற்றின் விளைவுகளும் —சு. ராமன்	...	325

		பக்கம்
16. நம் நாட்டில் அணுசக்தித் துறை —எம். பி. எஸ். ரமணி, டி. கே. வரதராஜன்	...	350
பிற்சேர்க்கை—1	...	373
பிற்சேர்க்கை—2	...	374
பிற்சேர்க்கை—3	...	376
பிற்சேர்க்கை—4	...	377
மூலகங்களின் பட்டியல்	...	379
அணுத்துறையில் சில முக்கிய தேதிகள்	...	382
சொற் சுருக்கங்கள்	...	386
கலைச் சொற்கள் :		
ஆங்கிலம்—தமிழ்	...	387
தமிழ்—ஆங்கிலம்	...	411
குறிப்பு ஏடு	...	435

புகைப்படங்கள் பட்டியல்

தலைப்பு		எதிர்ப்பக்கம்
புளூட்டோனிய உலையின் ஆட்சி அறை சைரஸ் அணுஉலையின் ஆட்சி அறை	...	168
சைரஸ் அணுஉலையின் உள்ளடக்கி	...	197
ஏவல்பணிக்கைகள்	...	198
சைரஸ் அணுஉலையின் எரிபொருளூட்டும் எந்திரம் கையுறைப் பெட்டிகள்	...	200
யுரேனிய உலோகக் கட்டையை வார்த்தெடுத்தல்	...	205
எரிமூலகத்தைச் சோதித்தல்	...	217
பிளாஸ்டிக் தற்காப்பு உடை	...	253
மருத்துவத்துறையில் கதிரூட்டும் எந்திரம் கதிர்வீச்சு ஸர்வேமானி கதிர்வீச்சின் தீய விளைவுகள்	...	286
வெல்டுகளின் காமாக் கதிர்ப்படங்கள்	...	316
மருத்துவத்துறையில் பயன்படும் ஐஸோடோப்புகளின் தயாரிப்பு கதிர்ப்பட காமிரா	...	317
அணுகுண்டு வெடிப்புச் சோதனை	...	324
அப்ஸரா அணுஉலை	...	352
சைரஸ் அணுஉலை	...	353
ஜெர்லினா அணுஉலை	...	354
எலக்ட்ரானியல் கருவிகள் தயாரிப்பு	...	360
வான்-டி-கிராஃப் வேகவளர்த்தி	...	365
டிராம்பேயிலுள்ள புளூட்டோனிய ஆலை	...	366
சைரஸ் அணுஉலை		Back Cover

அணிந்துரை

[டாக்டர் மு. வரதராசனர், M.A., M.O.L., Ph.D.,
தமிழ்த்துறைத் தலைவர், சென்னை பல்கலைக் கழகம்]

அறிவியல் துறையிலே இதுவரையில் உலகம் கண்டுவந்த வளர்ச்சி களைவிட மிகப் பெரிய வளர்ச்சியை இனிக் காணப்போகிறது. இத்தனை நூற்றுண்டுகளாக உலகம் பெற்றுவந்த மாறுதல்களைவிட மிகப் பெரிய மாறுதலை இனி அடையப்போகிறது. புதிதாகக் கண்டுபிடிக்கப் பட்டுள்ள அணுச்சக்தி எவ்வளவு ஆற்றல் வாய்ந்தது என்று அறிஞர்கள் வியந்து கூறுகிருர்கள். அதே நேரத்தில், இந்த உலகத்தில் மனிதப் பூண்டே இல்லாமல் அழித்துப் பொசுக்கும் ஆற்றலும் அணுக்குண்டு பெற்றிருப்பதையும், யாரேனும் அதைத் தவருகப் பயன்படுத்தி விடுவார்களோ என்று ஐயுற இடமிருப்பதையும் எண்ணி உத்தமர்கள் உள்ளம் கலங்குகிருர்கள். ஆனல் தீமை செய்யும் ஆற்றல் பெற்றிருப்ப தைக் கருதி, நன்மையும் செய்யவல்ல எந்தக் கருவியையும் விட்டொதுக்க முடியாது. கத்தி அரிவாள் முதலியன செய்யக் கற்றுக் கொண்ட இரும்புக்காலம் முதல் இந்தப் போராட்டம் தொடர்ந்து இருந்துவருகிறது. ஆதலால், அணுச்சக்தியின் அளப்பரிய ஆற்றல் நன்மைக்கும் தீமைக்கும் பயன்படக்கூடியதாக அமைந்திருப்பதை, எண்ணிக் கலங்குவதில் பயன் இல்லை. இயற்கைச் சக்திகளைப் பயன் படுத்துவதுபோலவே, மனிதப் பண்பாட்டையும் வளர்த்துப் பயன் படுத்திவந்தால், எதிர்காலத்தைப் பற்றிக் கவலையுறத் தேவை இல்லை. நன்மை செய்வதும் தீமை செய்வதும் பயன்படுத்துவோரின் மனப் பான்மையை ஒட்டியவை. அழகிய கைகள் அணைப்பதற்கும் பயன் படும்; அடிப்பதற்கும் பயன்படும்; அணைக்கச் செய்வதும் அடிக்கச் செய்வதும் மனமே. மனம் பண்படும் நன்னெறியை வளர்த்துக் கொண்டே, இயற்கைச் சக்திகளையும் பயன்படுத்தக் கற்றுக்கொண்டால், உய்வு உண்டு.

அணுக்கள் மிகமிகச் சிறியவை; அவற்றின் சக்தியோ மிகமிக வியப்பானது. அணுமின் நிலையங்களிலிருந்து கிடைக்கும் மின் சக்தியைப் பற்றிக் கூறப்படும் செய்திகள் சிந்தைக்கு எட்டாதனவாக உள்ளன. கதிரியக்கச் சிதைவின்போது ஒரு கிராம் ரேடியம் முழு வதும் சிதைவதால் வெளிப்படும் சக்தி, நூறு கிலோ கிராம் (அல்லது ஒரு லட்சம் கிராம்) பெட்ரோலை எரித்துப் பெறும் சக்திக்குச் சமமான தாம். இவ்வாறு அணுச்சக்தியின் பலகூறுகளையும் பற்றி ஆராய்ந்து

அறியும்போது, இயற்கை இதுவரையில் மனிதனுடைய அறிவுக்கு எட்டாமல் மறைத்து வைத்திருந்த பெரும் புதையலை இப்போது காட்டியருள முற்பட்டுவிட்டதோ என்று கருதத் தோன்றுகிறது. இயற்கை மனிதனை நம்பி மிகப் பெரிய சக்தியைக் காட்டித் தந்திருக் கிறது. ஆனால் மனிதன் அதன் நம்பிக்கைக்கு உரியவனாக நடந்து, அணுஉலைகளை நன்கு கட்டுப்படுத்தி, அணுச்சக்தியை நல்ல வகையில் ஆக்க வேலைக்கு மட்டுமே பயன்படுத்தவேண்டுமே என்பதுதான் அறிஞர்களின் கவலை. எவ்வாறாயினும், இவற்றைப் பற்றி அறிவு புகட்டும் நூல்கள் பல இன்று தேவையாகிவிட்டன.

மேலை நாட்டு விஞ்ஞான நூல்களில் கையாளப்பட்டுள்ள விஞ்ஞானச் சொற்கள் பல தமிழுக்குப் புதியவை. அந்தக் கலைச் சொற்களுள் சிலவற்றை எளிய தமிழில் ஆக்கி இந்த நூலில் வழங்கி யுள்ளார் நூலாசிரியர். சிலவற்றை (ஐஸோடோப் முதலியவற்றை) அந்த வடிவங்களிலேயே வழங்கியுள்ளார். அணுச்சக்தியைப் பற்றிய பல நுட்பக் கருத்துக்களையும் விளங்கிக் கொள்ளக் கூடிய முறையில் நூல் அமைந்துள்ளது. எவ்வளவு எளிமையாக்கி நுண் கருத்துக்களைத் தரமுடியுமோ அவ்வளவு முயற்சியும் மேற்கொண்டு தெளிவாக எழுதியுள்ளார். ஆனால் நூலைக் கற்பவர் ஒருமுறை கற்று மனநிறைவு அடைய முடியாது. கற்பவர் ஆர்வமும் விடாமுயற்சியும் கொண்டு அடிப்படையான சில பகுதிகளைத் திரும்பத் திரும்பக் கற்றால் தான், எந்தத் தத்துவ நூலையும் எந்த விஞ்ஞான நூலையும் கற்றுணர முடியும் என்பது பொதுவான உண்மை. அது இந்த நூலுக்கும் பொருந்தும். இதில் ஆங்காங்கே விளக்கப்பட்டுள்ள சமன்பாடுகளைத் (formulae) தெளிவாக அறிந்து நெஞ்சிலே பதியவைத்துக் கொண் டால், கற்பவர் மேலே தொடர்ந்து அவற்றால் விளக்கப்படும் ஆராய்ச்சி களில் ஈடுபட முடியும்.

பலவகை அணுஉலைகளைப் பற்றிய விளக்கங்கள் இந்நூலில் உள்ளன. அணுஉலைகளிலிருந்து எவ்வெவ்வகையில் அணுச்சக்தியைப் பயன்படுத்தல் இயலும் என்பதும் நன்றாக ஆராயப்படுகிறது. அணுச் சக்தியைப் பயன்படுத்தும்போது அதைக் கட்டுப்படுத்தித் தடுத்துக் காக்கும் வழிவகைகளும் இன்றியமையாதவை. கப்பல்களுக்கும் விமானங்களுக்கும் அணுச்சக்தியைப் பயன்படுத்த வேண்டுமானால், அதற்கு ஆகும் செலவு பல மடங்கு ஆகின்றது. ஆனால், அணுச் சக்தியைக் கொண்டு செல்வதில் எடை குறைகிறது; சிறிய அளவில் எரிபொருள் கொண்டு நெடுந்தொலைவு பயணம் செய்யமுடியும். விமானம் முதலியவை விபத்துக்கு உள்ளானால், ஏற்படும் விளைவுகளோ மிகப் பொல்லாதவைகளாக உள்ளன. அப்போது வெளிப்படும் கதிரியக்கப் பொருள்கள் விமானம் விழுந்த இடத்தில் மட்டும் அல்லாமல்

சுற்றுப்புறத்திலும் நெடுந்தொலைவிலும் பரவி அங்கங்கு வாழும் மக்களுக்கும் மற்ற உயிரினங்களுக்கும் பெருந்தீங்கை விளைவிப்பன ஆகும். இவற்றை எல்லாம் இந்த நூல் எடுத்துரைக்கின்றது. ராக்கெட்டுகளுக்கு அணுச்சக்தியைப் பயன்படுத்துவதில் உள்ள நலன்களும் இங்கு ஆராயப்படுகின்றன.

அணுஉலைகளை அமைத்து அணுச்சக்தியைப் பெறுவதற்கு யுரேனியம், தோரியம், புளூட்டோனியம் ஆகியவை எங்கு எப்படிக் கிடைக்கின்றன, அவற்றின் குணங்கள் என்னென்ன, அவற்றைப் பயன்படுத்தும் முறைகள் அளவுகள் என்னென்ன, ஆற்றிகளின் வகைகள் யாவை, கதிரியக்கத் தாக்குதலிலிருந்து ஆராய்ச்சியாளர் தம் உடலைக் காத்துக்கொள்ளும் முறைகள் என்னென்ன முதலிய பலவும் விளக்கப்படுகின்றன. பொதுவாக அணுச்சக்தியைப் பற்றிய விளக்கங்கள் தருவதோடு, அவற்றை உற்பத்தி செய்வதிலும் பயன்படுத்துவதிலும் நம் நாடு கவனிக்கத்தக்க குறிப்புக்களையும் இந்நூல் தருகின்றது. எடுத்துக்காட்டாக, அணுமின்சக்தி நம் நாட்டுக்குத் தேவையா, நீர்மின்நிலையங்கள் தரும் மின்சக்தி போதாவா என்பனவும் ஆராயப்படுகின்றன. அணுமின்சக்தியை உற்பத்தி செய்வதற்கு ஆகும் செலவு இவ்வளவு என்று கணக்கிடப்பட்டு, பிற மின்சக்திகளுக்கு ஆகும் செலவோடு ஒப்பிடப்படுகிறது. இங்கு பொருளாதார ஆராய்ச்சி வந்து அமைகிறது.

கதிரியக்கம் எந்த அளவிற்கு மனித உடலுக்குள் புகுகிறது என்பதை அளந்து காணும் கருவிகள் சில உள்ளன. அந்தக் கருவிகள் இங்கு விளக்கப்படுகின்றன. கதிர்வீச்சுத் தற்காப்பு முறை மிக இன்றியமையாதது ஆதலின், இப்பகுதி சிறந்ததொரு பகுதியாகும். கதிர்வீச்சு மனித உடலை எவ்வாறு தாக்குகிறது, அந்தத் தாக்குதலால் நேரும் விளைவுகள் யாவை என ஆராயுமிடத்தில், உடலியல் இடம் பெறுகிறது ; உயிர் செல்கள் பற்றியும் அவை பெறும் மாறுதல்கள் பற்றியும் விளக்கங்கள் உள்ளன. கதிர்வீச்சால் நேரும் பாரம்பரிய விளைவுகள் பற்றியும் குறிப்புகள் தரப்பட்டுள்ளன. கதிர்வீச்சால் தாவரங்களும் பூச்சிகளும் சிலவகைகளில் தாக்கப்படுகின்றன. தீமையான பூச்சிகளை அழித்து ஒழிப்பதற்குக் கதிர்வீச்சு பயன்படுகின்றது. உணவுப் பொருள்களைப் பதப்படுத்திக் காப்பதற்கு உதவுகிறது. தொல்பொருள் ஆராய்ச்சிக்கும் கதிர்ஐஸோடோப் பயன்படவல்லது. தொழில் துறையிலும் அதனால் நன்மைகள் விளையும். கதிர்நோய் என்ற புது நோயை உண்டாக்கவல்ல தீமை கதிர்வீச்சினிடம் உள்ளது. ஆனால் மருத்துவத்துறையில் கதிர் ஐஸோடோப் பல நன்மைகளைத் தரவல்லதாக உள்ளது என்பது மகிழ்வதற்கு உரியதாகும். மூளைக் கழலை, தைராய்டு சீர்கேடு முதலியவற்றைக் குணப்படுத்த ஐஸோடோப் பயன்

படுகிறது. பயிர்களின் நோய்ப்பூச்சிகளைக் கொன்று, பயிர்கள் செழிக்கச் செய்வதற்கும் ஐஸோடோப்பின் உதவி பெரிதாகும். அணுக் குண்டின் அழிவுச் சக்தியை எண்ணி வேதனைப்படும் நெஞ்சம், ஐஸோடோப்பின் ஆக்கச் சக்தியை எண்ணி ஆறுதல் பெற முடிகிறது.

இவ்வாறு பல அரிய நுண்பொருள்களை விளக்கும் இந்நூல் தமிழில் வளர்ந்துவரும் அறிவியல் செல்வத்திற்கு ஓர் அணிகலனாகும். தெளிந்த விஞ்ஞான அறிவு வாய்ந்த அறிஞர்கள் இவ்வகையில் தொண்டு செய்து தமிழர்களின் அறிவுவளத்தைப் பெருக்க முன்வந்தது பாராட்டுதற்கு உரியதாகும். பம்பாய்த் தமிழ்ச் சங்கம் ஆர்வம் கொண்டு இந்நூலை வெளியிடும் முயற்சியைத் தமிழகம் போற்றல் வேண்டும்.

மு. வரதராசன்

நூலின் கதையும் குறிக்கோளும்

"இறவாத புகழுடைய புது நூல்கள்
தமிழ் மொழியில் இயற்றல் வேண்டும்"

வழிகாட்டியாக அமைந்த மகா கவியின் மந்திரச் சொற்களை நினைவு கூறி இந்நூலை தமிழ் மக்களின் முன்பு பணிவன்புடன் சமர்ப்பிக்கிறோம்.

இந்த நூற்றாண்டின் தலையாய சாதனைகளை நினைவு கூறும்போது அணுவின் சக்தியை நாம் மறக்க முடியாதல்லவா? அதன் அழிக்கும் சக்தி ஒருபுறமிருக்க அணுசக்தியை ஆக்கப் பணியிலே பயன்படுத்த ஆழ்ந்த ஆராய்ச்சிகள் இன்று நடைபெற்று வருகின்றன. அமரர் டாக்டர் பாபா அவர்களின் நினைவுச் சின்னமாக விளங்கும் "அணு நிலையம்" வளரும் பாரதத்திற்கு ஒளி விளக்காக அமைந்த ஓர் ஒப்பற்ற சாதனை. அதிலே ஆக்கப்பணி புரியும் தமிழ் நாட்டைச் சேர்ந்த இளம் விஞ்ஞானிகளின் சிந்தனைச் செல்வம் பம்பாய்த் தமிழ்ச் சங்கத்துடன் இணைந்தபோது கிடைத்த பரிசுதான் இந்நூல்.

"தமிழிலே முடியும்" என்பதற்கு நல்லதொரு சான்றாக இந்நூல் விளங்கும் என்பது எமது நம்பிக்கை. உலக அரங்கிலே பல்வேறு மொழியினரின் ஆராய்ச்சிகளின் விளைவாக பெரிதும் வளர்ந்துவிட்ட "அணு விஞ்ஞானம்" என்னும் புது உலகின் நுழை வாயிலாக, இந்நூல் அமையுமென்று நம்புகிறோம்.

சுதந்திரப் போராட்டத்தை நினைவு கூறும் பணியில் "வ. உ. சி." நினைவு மலரையும், இலக்கியத்துறையில் "அருணோதயம்" என்ற நாடகத்தையும் வெளியிட்டுள்ள சங்கத்தின் கன்னி முயற்சி விஞ்ஞானத் துறையில் இந்நூல்.

நூலாசிரியர்களுக்கு முதற்கண் எங்கள் உளங்கனிந்த நன்றிகள் உரித்தாகுக.

அன்புடன் முன்னுரை வழங்கியுள்ள டாக்டர் மு. வ. அவர்களுக்கு எங்கள் இதயங்கனிந்த வணக்கங்கள்.

அழகாக புத்தகத்தை அச்சிட்டுத் தந்த கபீர் பிரிண்டிங் ஒர்க்ஸ், விற்பனை உரிமை ஏற்றுக்கொண்ட பாரி நிலையம், இப்புத்தகம் உருவாக பெரிதும் துணைபுரிந்த நண்பர் "மாயாவி" அனைவருக்கும் நாங்கள் மிகவும் கடமைப்பட்டுள்ளோம்.

தமிழ் மக்கள், கல்வித்துறையிலே ஈடுபட்டுள்ளவர்கள், கல்லூரி மாணவர்கள், நூல் நிலையங்களோடு பங்குகொண்டவர்கள் எல்லோரும் இந்நூலை தக்க முறையில் பயன்படுத்த வேண்டுமென்பது எங்கள் பேரவா.

அறிவு என்னும் தீபத்தில் இந்நூலின் வாயிலாக ஒரு புத்தொளி வீசியதென்றால் எங்கள் பணி வெற்றி பெற்றது என்ற நிறைவு பெறுவோம்.

வணக்கம்.

1–12–'68
பம்பாய்–22

பம்பாய்த் தமிழ்ச் சங்கம்

நூன்முகம்

புத்தம் புதிய கலைகள்—பஞ்ச
பூதச் செயல்களின் நுட்பங்கள் கூறும்
மெத்த வளருது மேற்கே—அந்த
மேன்மைக் கலைகள் தமிழினில் இல்லை.
சொல்லவும் கூடுவதில்லை—அவை
சொல்லுந் திறமை தமிழ் மொழிக்கில்லை
மெல்லத் தமிழினிச் சாகும்—அந்த
மேற்கு மொழிகள் புவிமிசை யோங்கும்
என்றந்தப் பேதை உரைத்தான்—ஆ!
இந்த வசையெனக் கெய்திடலாமோ
சென்றிடுவீர் எட்டுத் திக்கும்—கலைச்
செல்வங்கள் யாவும் கொணர்ந்திங்கு சேர்ப்பீர்!

என்ற பாரதியின் கட்டளையை சிரமேற்கொண்டு பணியாற்றத் தொடங்கியுள்ளது பம்பாய் விஞ்ஞானத்தமிழ் வளர்ச்சிக் கழகம். இக் கழகத்தின் பெரும்பான்மை அங்கத்தினர்கள், பம்பாய் நகரத்திலுள்ள டாட்டா அடிப்படை ஆராய்ச்சி நிலையத்திலும், பாபா அணு ஆராய்ச்சி கேந்திரத்திலும் பணிபுரியும் விஞ்ஞானிகளாவர். எனவே, இக்கழகம் தனது முதல் பணியாக, 'அணு'வைப் பற்றிய ஒரு சிறு நூலை தமிழில் வெளியிட மேற்கொண்டது இயற்கையே.

இரண்டாவது உலகப்போருக்குப்பின் அணுகுண்டைப் பற்றி கேள்விப்படாதவர்களே கிடையாது. கடந்த பல ஆண்டுகளாக விண் வெளிப் பயணத்தில் மனிதன் ஆற்றிவரும் சாதனைகளைப்பற்றி ஆச்சரியப்படாதவர்களே இல்லை. அணுபௌதிக விண்வெளித் துறைகளில் ஏற்பட்டிருக்கும் ஆச்சரியப்படத்தக்க முன்னேற்றங்களின் காரணமாக, தற்சமயம் பொதுவாகவே மக்களிடையே ஒரு விஞ்ஞான நாட்டமும், விழிப்பும் ஏற்பட்டிருக்கின்றன என்றே கூறிவிடலாம். சாதாரண மக்களிடையேகூட அணுவைப் பற்றியும், அணுகுண்டைப் பற்றியும், ராக்கெட்டுகளைப்பற்றியும் அறிந்து கொள்ள வேண்டுமென்ற அவா காணப்படுகிறது. அவர்களது உள்ளத்தில் எழுந்துள்ள ஆசையைப் பூர்த்தி செய்து கொள்வதற்குத் தடையாய் இருப்ப தெல்லாம் மொழி ஒன்றே. மேலை மொழிகளிலெல்லாம், சாதாரண மக்களும் புரிந்து கொள்ளும் வகையில், பிரபல விஞ்ஞானிகள் பலர் மிகச் சிக்கலான விஞ்ஞான விஷயங்களைக் கூடத் தத்தம் மொழிகளில் சிறுசிறு புத்தகங்களாக வெளியிட்டு, மக்களிடையே விஞ்ஞான அறிவைப் பெருக்கி வருகின்றனர். இந்திய மொழிகளில், மேற்கூறிய விஞ்ஞான நூல்களோடு ஒப்பிட்டுப் பார்க்கக்கூடிய அளவில் நூல்கள்

ஏதும் எழுதப்படவில்லை என்று துணிந்து கூறிவிடலாம். தமிழ் மொழியும் இதற்கு விலக்கல்ல. எனவே, அணுவைப் பற்றி ஒரு நூலைத் தமிழில் எழுத, கழகம் விழைந்தது.

இப்பணியில் கழகத்தினர்க்கு இருந்த இடையூறுகள் பல. இக் கழகத்தினர் எழுத்துலகிற்குப் புதியவர்கள் ; எழுத எடுத்துக்கொண்ட பொருளோ விஞ்ஞானத்தைச் சார்ந்தது. தாங்கள் ஆங்கிலம் மூலமாகக் கற்றுத் தெளிந்த கருத்துக்களை முதன் முறையாகத் தமிழில் வடித்தெடுக்க முயலும்போது, கலைச்சொற்கள் பலவற்றைத் தோற்றுவிக்க வேண்டிய நிர்ப்பந்தம் வேறு ஏற்பட்டது. சிறந்த தமிழ் நூல் நிலையங்கள் ஒன்றுகூட இல்லாத பம்பாய் நகரில் இருந்து கொண்டு, தங்கள் அலுவல்களுக்கிடையில் அவ்வப்போது கிடைக்கும் ஓய்வு நேரங்களில் இப் பணியை மேற்கொண்ட கழகத்தினருக்கு, மற்றுமொரு பெரிய பிரச்னையைச் சமாளிக்க வேண்டியிருந்தது ; புத்தகத்தில் எழுதப்படும் செய்திகளும், தமிழ் நடையும் எந்தத் தரத்தில் அமையவேண்டும் என்பதைத் தீர்மானிப்பதே அது.

“ சிக்கலான விஞ்ஞான உண்மைகளை பாமர மக்களுக்கு விளங்கும்படி எழுதுவது மிகக் கடினமாகும். ஜனரஞ்சகமான நூல்களில் சிக்கலான உண்மைகளை விளக்கும் பொருட்டு, மேலெழுந்தவாரியாக, சுவையான உபமானங்கள் கூறப்படுகின்றன. இங்ஙனம், விஞ்ஞான விஷயங்களைக் கவர்ச்சியான முறையில் விளக்கும்போது, எடுத்துக் கொண்ட விஞ்ஞான உண்மைகளைப் பற்றிய ஒரு பொய்த் தோற்றமே படித்தவர் மனத்தில் எஞ்சி நிற்கும். ஜனரஞ்சகமான நூலை மறந்துவிட்டு, உயர்தரமான நூலை எடுத்துக்கொண்டாலோ அது முதல் வகைக்கு நேர் எதிர்மாறானதாக இருக்கும். எடுத்துக்கொண்ட விஞ்ஞான விஷயத்தை உப்பு சப்பின்றி ஒரு கட்டுப்பாட்டுடன் கூறி, பாடநூல்போல் இது எழுதப்பட்டிருக்கும். இதைப் படிக்கும் சாதாரண மக்கள், விஷயத்தைப் புரிந்து கொள்ள முடியாததோடு, மேற்கொண்டு படிக்கும் ஆர்வத்தையும் இழந்துவிடுகிறார்கள் ” என்று விஞ்ஞான நூல்களை இருவகைப்படுத்தி அவைகளின் தன்மைகளை ஆராய்ந்து கூறுகிறார் டாக்டர் ஐன்ஸ்டீன். இதனை மனத்திற்கொண்டு அமைக்கப்பட்டது இந்நூல் ; சுவை வேண்டுமே என்பதற்காக வேண்டாத உபமானங்களையும் சொல் அலங்காரங்களையும் புகுத்தாமல், அதே சமயம் வாசகர்களின் ஆர்வம் குறைந்து விடாவண்ணம் உள்ளதை உள்ளபடியே கூறும் வகையில் எழுத முயற்சிக்கப்பட்டுள்ளது.

பௌதிகம், ரசாயனம், உயிரியல், பொறியியல் முதலிய பல்வேறு விஞ்ஞானத் துறைகளையும் பயன்படுத்திக்கொண்டு வளர்ந்து வரும் அணுவியலைப் பற்றிக் கூறும்போது இந்தப் பல்வேறு பகுதிகள் வாயிலாகக் கூறுவதுதான் சிறப்பு. இவ்வகையில், இந்நூலை ஆக்கியுள்ள

கழகத்தாருக்கு ஒரு அரிய வசதி—தனி மனிதருக்கோ, பதிப்பகத்தினருக்கோ எளிதில் அமையமுடியாத ஒரு வசதி—இருந்தது. அது, பல்வேறு விஞ்ஞானத் துறைகளைப் பயின்று, அந்தந்தத் துறைகளிலேயே ஆராய்ச்சிகள் நடத்தி வரும் விஞ்ஞானிகள் பலர், இந்நூலை எழுதக் கிடைத்ததேயாகும். ஒவ்வொரு அத்தியாயத்தையும் அதனுள் கூறப்படும் துறையிலேயே உழைத்துவரும் உறுப்பினர்கள் எழுதி, பின்னர் எல்லா அத்தியாயங்களையும் ஆசிரியர் குழு ஒன்று படித்து, விவாதித்து, திருத்தி, பின் எல்லாவற்றையும் முறையாகத் தொகுத்து, தமிழில் இது முதல் நூலாக ஆக்கப்பட்டுள்ளது.

இனி, இந்நூலின் குறிப்பிடத்தக்க அம்சங்கள் சிலவற்றைக் கூறுவோம்.

பொதுவாக, இந்நூல் பள்ளியிறுதி வகுப்பு மாணவராலும் புரிந்து கொள்ளக் கூடுமாறு எழுதப்பட்டிருக்கிறது. தவிரவும், ஒவ்வொரு அத்தியாயமும் தனித்தனியாகப் படித்துப் புரிந்து கொள்ளக் கூடியதாக இருக்குமாறும் அமைக்கப்பட்டுள்ளது. மேலும், கலைச் சொற்களைத் தேர்ந்தெடுக்கும்போது, அவை வீண் குழப்பத்தையும், பொருட் திரிபையும் ஏற்படுத்தாவண்ணம் ஆக்கப்பட்டுள்ளது. உதாரணமாக 'Power', 'Efficiency' என்ற இரு ஆங்கிலச் சொற்களுக்கேற்ற சொற்கள் தமிழில் திட்டவட்டமாக இல்லை. 'திறன்' 'சக்தி' 'ஆற்றல்' 'திறமை' என்ற எல்லாச் சொற்களுமே குழப்பத்தை ஏற்படுத்தும் வகையில் பயன்படுத்தப்பட்டு வருகின்றன. இதனைத் தவிர்த்து, இந்நூலில் 'திறன்' என்ற சொல்லை 'Power' என்பதற்கும், 'திறமை' என்ற சொல்லை 'Efficiency' என்பதற்கும் மட்டுமே பயன்படுத்தி இருக்கிறோம். இங்ஙனமே எல்லாக் கலைச் சொற்களும் ஒரு ஒழுங்குடன் நிர்ணயிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. சில புதிய கலைச் சொற்களும் நல்ல பொருட்செறிவுடன் ஆக்கப்பட்டிருக்கின்றன. அவற்றிற்கு உதாரணமாக 'ஈனுலை' (Breeder), பண்பகம் (Gene), பிறழ்ச்சி (Mutation) என்ற சொற்களைக் கூறலாம்.

ஒவ்வொரு அத்தியாயத்தின் முடிவிலும், அதனுள் கூறப்பட்ட விஷயங்களுக்கு ஆதாரமாக உள்ள சில ஆங்கில நூல்களின் பட்டியல் ஒன்று கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதைத் தவிர, புத்தகத்தின் முடிவில், கலைச்சொற்களின் பட்டியல், தமிழ்—ஆங்கிலம், ஆங்கிலம்—தமிழ் என்ற இரு வகையிலுமே அகர வரிசைப்படுத்தித் தரப்பட்டிருக்கிறது. இவையெல்லாவற்றையும், தவிர இப்புத்தகத்தில் குறிப்பிட்டுள்ள பல்வேறு விஷயங்கள் ஒவ்வொன்றும் புத்தகத்தின் எந்த எந்தப் பக்கத்தில் உள்ளன என்பதைச் சுட்டிக்காட்டும் குறிப்பு ஏடு (Index) ஒன்றும் புத்தக முடிவில் சேர்க்கப்பட்டிருக்கிறது.

இப்புத்தகத்தின் பல்வேறு பகுதிகளையும் ஆர்வத்துடனும், கவனத்துடனும் படித்து, பிழைகளைச் சுட்டிக்காட்டியும், தங்கள் அபிப்ராயங்களைத் தந்தும் உதவிய கழகத்தின் பல்வேறு அங்கத்தினர்களுக்கு ஆசிரியர் குழு தனது மனமுவந்த நன்றிகளைத் தெரிவித்துக் கொள்கிறது. இந்நூலை ஆரம்பித்ததிலிருந்து இடையருது ஊக்கமும் உற்சாகமும் தந்து வரும் பம்பாய்த் தமிழ்ச் சங்கத்தினருக்கு எமது உளமார்ந்த நன்றி. மற்றும் எங்கள் வேண்டுகோளுக்கு இணங்கி, உற்சாகமூட்டும் வகையில் இந்நூலுக்கு ஓர் அணிந்துரை எழுதித் தந்துள்ள சென்னை பல்கலைக் கழகத் தமிழ்த்துறைத் தலைவர் பேராசிரியர் மு. வரதராசனர் அவர்களுக்குக் கழகம் தனது உளங்கனிந்த நன்றியைத் தெரிவித்துக் கொள்கிறது.

எமது கழகத்தின் முதன்முயற்சியாகிய இந்நூலில், குற்றங்குறைகள் காணப்படுமேயானல், அவற்றை எடுத்துக்கூறியும் நூலை மேலும் சிறப்புறவும், பயன்தரும் வகையிலும் ஆக்குவதற்கான கருத்துக்களைத் தெரிவித்தும் உதவுமாறு தமிழ் கூறும் நல்லுலகத்தை வேண்டுகிறேம்.

ஆசிரியர் குழு

விஞ்ஞானத் தமிழ் வளர்ச்சிக் கழகம், பம்பாய்

நன்றி

இப்புத்தகத்தின் பகுதிகளில் சிலவற்றைப் படித்து, பிழைகளைச் சுட்டிக் காட்டி, திருத்தும் வகையைக் கூறிய திரு. எஸ். ஆர், பராஞ்ச்பே, திரு. என். சுவாமிநாதன், திரு. கே. சுப்ரமணியன், திரு. ஆர். பாலசுப்ரமணியன், திரு எஸ். ஏ. பாலசந்திரசேகர், டாக்டர் ஏ. ஆர். கோபால ஐயங்கார் முதலிய அறிஞர்களுக்கும் ;

பல்வேறு அத்தியாயங்களை கையெழுத்துப் பிரதி வடிவத்தில் ஆக்கித் தந்த திரு. எஸ். கிருஷ்ணன், திரு. எஸ். ராமச்சந்திரன், திரு. என். விஸ்வநாதன், திரு. ஸி. பி. ராகவேந்திரன், திரு. கே. ஜி. ராகவன், டாக்டர் ஆர். வி. ராகவன், திருமதி சுஜாதாவேணுகோபால், திரு. எஸ். எச். சுப்ரமணியன் முதலியவர்களுக்கும் ;

புத்தகத்தில் வரும் படங்களில் பலவற்றை வரைந்து தந்த திரு. அரோரா, திரு. ஜகதாப், திரு. மால், திரு. ராமஸ்வாமி, திரு. எஸ். ஏ. பாலசந்திரசேகர் முதலியவர்களுக்கும் ;

ஒவ்வொரு அத்தியாயத்திற்கும் முகப்பாக அமையும் சித்திரங்களை வரைந்து தந்த பாளையங்கோட்டை மாணவர் திரு. க. ச. நடராசன் அவர்களுக்கும் ;

கலைச் சொற்கள் பட்டியலையும், குறிப்பு ஏட்டையும் உருவாக்கித் தந்த திரு எஸ். எச். சுப்ரமணியன் அவர்களுக்கும் ;

புத்தகத்தில் வரும் புகைப்படங்களில் பெரும்பான்மையையும், அவைகளைப் பிரசுரிக்க அனுமதியையும் தந்த இந்திய அரசாங்கத்தின் அணுசக்திப் பிரிவினருக்கும் ;

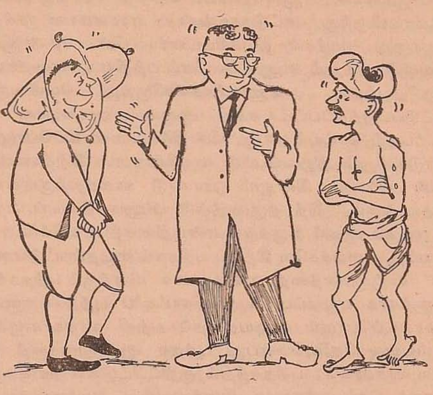
சில புகைப்படங்களைத் தந்து உதவிய அமெரிக்க ஐக்கிய நாட்டுத் தகவல் நிலையத்தினருக்கும், பிரிட்டிஷ் தகவல் நிலைய.த்தினருக்கும் ;

ஆறு மாதங்களுக்கும் மேலாக எங்களது பற்பல வேண்டுகோள் களுக்கும் இணங்கி, புத்தகத்தை மிகச் சிறப்பான முறையிலே அச்சிட்டுத் தந்த சென்னை கபீர் அச்சகத்தினருக்கும் ;

கழகம் தனது உளமார்ந்த நன்றிகளைத் தெரிவித்துக் கொள்கிறது.

847—B

அணுவைப் பற்றி



1. அறிமுகம்

அணுக்கள் மிகவும் நுட்பமானவை. இன்றுவரை எவரும் அணுவைப் பார்த்ததில்லை. ஆனால் மிகப் பழங் காலந்தொட்டே பல அறிஞர்கள் அணுவைப் பற்றிச் சிந்தனை செய்துவந்துள்ளனர். இன்று அணுவைப்பற்றிய பல உண்மைகளை மனிதன் தெரிந்து கொண்டுள்ளான். 'அணுவைப் பிளக்க முடியாது' என்று இரண்டாயிரம் ஆண்டுகளுக்கும் மேலாக நிலவிவந்த கொள்கை இன்று தகர்த்தெறியப்பட்டுள்ளது. அணுவினுள் ஏராளமான சக்தி பொதிந்து கிடக்கிறது என்றும், அணுவைப் பிளப்பதால் அச் சக்தியை வெளிப்படுத்த முடியும் என்றும் மனிதன் கண்டுபிடித்துள்ளான். நெருப்பின் உபயோகத்தை அறிந்ததற்கு அடுத்தபடியாக, இந்தக் கண்டுபிடிப்பையே மனிதனின் மாபெரும் வெற்றியாக எல்லா அறிஞர்களும் கருதுகின்றனர். காட்டுத் தீயாலோ, இடிவிழுதலாலோ ஆதிமனிதன் நெருப்பைப் பற்றி அறிந்து கொண்டிருக்கக் கூடும். நெருப்பை வேண்டிய சமயத்தில் மூட்டிக்கொள்ளவும், அதைக் கட்டுப்படுத்தவும், படிப்படியாக அவன் கற்றுக்கொண்டான். பொதுமக்களுக்கு அணு சக்தி அறிமுகமான வரலாறும் இதே போன்றதுதான். ஒரு சில பௌதிக விஞ்ஞானிகள் அணுசக்தியைப் பற்றி ஏற்கெனவே அறிந்திருந்தனர் என்றாலும், முதல் அணுகுண்டு வெடித்தபொழுதுதான்

847—1

பொதுமக்கள் அணுசக்தியைப் பற்றித் தெரிந்துகொண்டனர். அணு குண்டிலிருந்து கட்டுக்கடங்காத ஏராளமான சக்தி வெளிப்பட்ட பொழுது அவர்கள் திடுக்கிட்டனர். பின்னரே அணுசக்தியைச் சீராக வெளிப்படுத்தும் அணு உலைகளைப் பற்றிய உண்மைகள் அவர்களுக்குத் தெரியவந்தன. அணு உலைகளிலிருந்து வெளிவரும் அணுசக்தி கட்டுப்படுத்தப்பட்ட சக்தி ஆகும். ஏராளமான மின் சக்தியை உற்பத்தி செய்யும் அணு மின்நிலையங்கள் இப்பொழுது உலகின் பல நாடுகளிலும் நிறுவப்பட்டு வருகின்றன. இந்தியாவின் முதல் அணு மின் நிலையம் இன்னும் ஓராண்டு காலத்திற்குள்ளாகச் செயல்படத் தொடங்கும். இத் தருணத்தில் அணுசக்தியைப் பற்றி அறிய அனை வருக்கும் ஆவல் இருக்கும் என்பதில் சந்தேகமில்லை. அந்த ஆவலைத் தணித்து வைக்கவே இந்தப் புத்தகம் எழுதப்பட்டுள்ளது.

விஞ்ஞானத்தை எளிமையாக விளக்கும் புத்தகங்களை, பிரயாணி களுக்காக எழுதப்படும் 'வழிகாட்டி'ப் புத்தகங்களுடன் ஒப்பிடலாம். சொல்லப்போகும் விஷயத்தைப் பற்றி வாசகர்களுக்கு ஏற்கெனவே எவ்வளவு தெரியுமென்பது புத்தக ஆசிரியருக்குத் தெரியாது. ஒரு சில வாசகர்கள், புத்தகத்தில் குறிப்பிட்டுள்ள ஊருக்கு முதல் தடவை யாகச் செல்பவர்களாக இருக்கலாம். அவர்களுக்கு அந்த ஊரைப் பற்றி ஏதும் தெரியாமலிருக்கலாம். வேறு சிலர், அந்த ஊரை ஏற்கெனவே ஓரிரு தடவைகள் முன்னதாகப் பார்த்திருக்கலாம். இவர் களுக்கு ஊரில் உள்ள முக்கியமான இடங்கள் சிலவும் அவற்றைப் பற்றிய சில விவரங்களும் தெரிந்திருக்கக் கூடும். அவ்வூருக்குப் பல தடவைகள் சென்றிருக்கக்கூடிய வாசகர்களும் சிலர் இருக்கலாம். இவர்களுக்கு ஊரில் புதிதாக ஏற்பட்டுள்ள மாற்றங்களும், ஒரு சில விவரங்களும் தெரியாமல் இருக்கலாம். இம்மாதிரியான ஒவ்வொரு வகை வாசகருக்கும் அவரவருக்கு ஏற்றவாறு தனித்தனியே 'வழி காட்டி'ப் புத்தகம் எழுதுவதே சிறந்தது. ஏனெனில் எல்லா விவரங்களை யும் ஒரே புத்தகத்தில் கொடுப்பதால், ஊருக்குப் புதியவர்கள் குழப்ப மடைவார்கள்; ஊரைப்பற்றி நன்கறிந்தவர்கள், தமக்குத் தெரிந்த விஷயங்களைப் படிக்கும்பொழுது சலிப்படைவார்கள். விஞ்ஞான உலகத்தைப் பொறுத்தவரை பெரும்பான்மையான வாசகர்களை 'ஊருக்குப் புதியவர்கள்' என்று கொள்ளலாம். அம்மாதிரி வாசகர் களின் பொருட்டே இப் புத்தகம் எழுதப்படுவதால், எல்லா விஷயங் களும் அடிப்படையிலிருந்தே விளக்கப்படுகின்றன.

'அடிப்படை' என்ற அத்தியாயத்துடன் தொடங்குகிறது புத்தகம். அணு விஞ்ஞானத்தைப் பற்றி அறிவதற்கு அவசியமான அடிப்படையான தத்துவங்கள் இந்த அத்தியாயத்தில் எடுத்துச் சொல்லப்படுகின்றன. கூடியமட்டும் எளிதான முறையில், இந்தத் தத்துவங்களை எடுத்துக் கூறும்பொழுது, சிறிதளவு கணிதமும் ஒரு சில சமன்பாடுகளும் இன்றியமையாதனவாக ஆகிவிடுகின்றன.

இவற்றைக் கண்டு வாசகர்கள் அஞ்சவேண்டியதில்லை. பொதுவாக சமன்பாடுகள், சுருக்கமாகவும், கச்சிதமாகவும் விஞ்ஞான உண்மைகளை விளக்குகின்றன. உதாரணமாக, "ஒரு முக்கோணத்தின் பரப்பளவு, அதன் குத்துயரத்தையும் அடிப்பக்கத்தின் நீளத்தையும் பெருக்கி வரும் பெருக்கற்பலனில் பாதி" என்ற உண்மையைப் பின்வரும் சமன்பாட்டால் சுருக்கமாக எழுதலாம் :

முக்கோணத்தின் பரப்பளவு $= \frac{1}{2} \times$ அடிப்பக்கம் $\times$ குத்துயரம்.

இன்னும் சுருக்கமாக சங்கேத முறையில் பின்வருமாறு எழுதலாம் :

$$A = \tfrac{1}{2}ah$$

இந்தச் சமன்பாட்டில் ஒவ்வோர் எழுத்தும் ஓர் அளவைக் காட்டி நிற்கின்றது. அதாவது 'A' என்பது பரப்பளவையும், 'a' என்பது அடிப்பக்கத்தையும், 'h' என்பது குத்துயரத்தையும் குறிப்பிடுகின்றன.

இவ்வாறு 'சுருங்கக்கூறி விளங்கவைக்கும்' சமன்பாடுகளை நன்கு கற்றறிவதால் வாசகர்கள் பயனுறுவார்கள் என்பதில் ஐயமில்லை.

'அடிப்படை'யை அடுத்து வருவது 'அணு' என்ற அத்தியாயம். இதில், "அணு என்றால் என்ன ? அணுக்கரு என்றால் என்ன ? அணுவின் அமைப்பு எவ்வாறு உள்ளது? ஒரு மூலகத்தின் அணுவும் மற்றொரு மூலகத்தின் அணுவும் எவ்வாறு வேறுபடுகின்றன ? அணுக்கருக் கிரியை என்றால் என்ன? ஒருவகை அணுக்கருவும் மற்றொருவகை அணுக்கருவும் ஒரு கிரியையில் ஈடுபடுகையில் நடப்பது என்ன? அணுவிலிருந்து சக்தி எவ்வாறு கிடைக்கின்றது? தொடர்கிரியை என்றால் என்ன ?" என்பவை போன்ற வினாக்களுக்கு விடை காணலாம்.

நெருப்பு மூட்டுவதற்கு எரிபொருள், அடுப்பு, மற்றும் எரிபொருளை முதலில் பற்றிக்கொள்ளும்படி செய்யவல்ல ஒரு வழி ஆகிய இம்மூன்றும் தேவைப்படுகின்றன. எரிபொருள் எரிவதாலேயே வெப்பம் வெளிப்படுகின்றது. உதாரணமாக, விறகு, கரி, மண்ணெண்ணெய், 'புர்ஷேன் வாயு'[1] போன்றவற்றை எரிபொருளாக உபயோகிக்கலாம். மற்ற இடங்களில் நெருப்புப் பரவாமல், தேவைப்பட்ட இடத்தில் மாத்திரம் நெருப்பு இருக்குமாறு செய்ய அடுப்பு தேவைப்படுகிறது. ஒரு தீக்குச்சியைக் கொண்டு எரிபொருளை முதலில் பற்றவைக்கலாம். இது போன்றே அணுவிலிருந்து வெப்ப சக்தியைப் பெறுவதற்கும் தேவைப்படுவன மூன்று. முதலில் எரிபொருள். இங்கு 'எரிபொருள்' எனப்படுவது அணுப்பிளவுக்கிரியையில் ஈடுபடக்கூடிய யுரேனியம் போன்ற பொருளாகும். அடுப்பின் இடத்தில் அணுஉலையைக் கூறலாம். இங்குதான் அணுப்பிளவுகள் ஏற்பட்டுச் சக்தி வெளிப்படுகிறது. அணுப்பிளவுக்கிரியையைத் தொடங்கச் செய்து அக்கிரியை தொடர்ந்து நடக்கும்படி செய்யும்பொருட்டு எடுத்துக்கொள்ளப்படும் முயற்சியை,

---

1. burshane gas.

தீக்குச்சிகொண்டு நெருப்பைத் தொடக்குவதற்கு இணையாகக் கூறலாம். இந்த விஷயங்களையெல்லாம் விவரமாக விளக்குகின்றன 'அணு உலை' என்ற தலைப்பில் எழுதப்பட்டுள்ள ஏழு அத்தியாயங்கள்.

'அணு உலை' அத்தியாயங்களுள் முதலிடம் பெறுவது 'பௌதிகம்' ஆகும். அணுவைப் பிளப்பதற்கு ஏற்ற சூழ்நிலைகளை அமைத்துக் கொள்ளும் முறைகளையும், அணுஉலையின் பாகங்களையும், பௌதிகக் கண் கொண்டு நோக்குகிறது இந்த அத்தியாயம்.

அடுத்து வருவது 'பொறியியல்' அத்தியாயம். "அணுப் பிளவினால் கிடைக்கும் வெப்ப சக்தியை, அணுஉலையிலிருந்து எவ்வாறு வெளிப்படுத்துவது? அணுஉலையின் பல வகைகள் யாவை? அவற்றின் உபயோகங்கள் யாவை? அணு மின்நிலையம் என்றால் என்ன?" என்பவை போன்ற பொறியியல் சம்பந்தமான கேள்விகளுக்கு விடையளிக்கிறது இந்த அத்தியாயம்.

அணுஉலையை இயக்குவதற்கும், பல விஞ்ஞானச் சோதனைகள் செய்யவும், அளவிடு கருவிகளின் உதவி இன்றியமையாதது. இக் கருவிகளின் தத்துவங்களைப்பற்றிக் கூறுகிறது 'அளவிடு கருவிகள்' என்ற அடுத்த அத்தியாயம்.

"அணுஉலைக் கட்டுப்பாடு என்றால் என்ன? அணுமின்நிலையக் கட்டுப்பாடு என்றால் என்ன? அணுஉலையைத் தொடங்கச் செய்வது எவ்வாறு? இயக்குவது எவ்வாறு? நிறுத்துவது எவ்வாறு? விபத்துக் களைத் தவிர்க்க என்ன நடவடிக்கைகள் எடுத்துக்கொள்ளப்படுகின்றன?" இந்த வினாக்களுக்குரிய விடைகளை, 'கட்டுப்பாடு' என்ற அத்தியாயத்தில் காணலாம்.

அணுஉலையைப்பற்றிய பௌதிக, பொறியியல் விஷயங்களையும், கட்டுப்பாடு முறைகளையும் பற்றித் தெரிந்து கொண்டால் போதுமா? அணுஉலையைக் கட்டுவதற்கு என்ன என்ன பொருள்கள் தேவை என்று தெரிய வேண்டாமா? சில முக்கியமான பொருள்களைப்பற்றி விளக்குகிறது "அணு உலை–பொருள்கள்" என்ற அடுத்த அத்தியாயம். "இயற்கையில் இப்பொருள்கள் எவ்வாறு கிடைக்கின்றன? அவற்றை உபயோகிப்பதற்கு ஏற்றவாறு எவ்வாறு செய்யமுடியும்? அணுஉலையின் கதிர் வீச்சால் இப்பொருள்கள் பாதிக்கப்படாமல் இருக்குமா?" என்பவை போன்ற விஷயங்களைத் தெரிந்து கொள்ளலாம் இந்த அத்தியாயத்திலிருந்து.

'சாதனங்கள்' என்ற அத்தியாயம் அணுஉலையில் பயன்படும் சாதனங்களையும் உபகரணங்களையும்பற்றி எடுத்துக் கூறுகின்றது.

அணுஉலைக்கே உரித்தான எரிபொருள்கள் உள்ளன. இவற்றைத் தனிப்பட்ட முறைகளில் தயார் செய்யவேண்டியுள்ளது. இம்முறைகளின் விவரங்களையும், இந்த எரிபொருள்களை எவ்வாறு பயன்படுத்தினால் மிகுந்த பலன் கிட்டும் என்பதைப்பற்றியும் தெளிவாகக் கூறுகின்றது 'எரிபொருள்' என்ற அடுத்த அத்தியாயம்.

" அனல் மின்நிலையங்களும், நீர் மின் நிலையங்களும் போதாவா? அணுமின் நிலையங்களை நிர்மாணிக்க வேண்டிய அவசியம் யாது? அணுமின் நிலையத்தில் ஆக்கப்படும் மின்சாரம் மலிவானதுதானா?" என்பவை போன்ற கேள்விகளுக்கு விடையளிக்கிறது " அணுமின் சக்தி " என்ற அடுத்த அத்தியாயம்.

அணுப்பிளவுகள் ஏற்படும்பொழுது வெப்ப சக்தியுடன் ஆபத்தான கதிர்களும் வெளிவருகின்றன. உயிரினங்களுக்கு இக்கதிர்கள் தீங்கு விளைவிக்கக் கூடியவை. இக்கதிர்களிலிருந்து தீங்கு ஏற்படாமல் காத்துக் கொள்ள முடியாதா? நிச்சயமாக முடியும். தகுந்த பாது காப்புடனும் எச்சரிக்கையுடனும் இருந்தால் எவ்விதத் தீங்கும் நம்மை அணுக முடியாது. எவ்வாறு எச்சரிக்கையுடன் இருப்பது என்று அறிந்து கொள்ள வேண்டுமா? 'அணுக்கதிர்—தற்காப்பு' என்ற அத்தியாயத்தைப் படியுங்கள்.

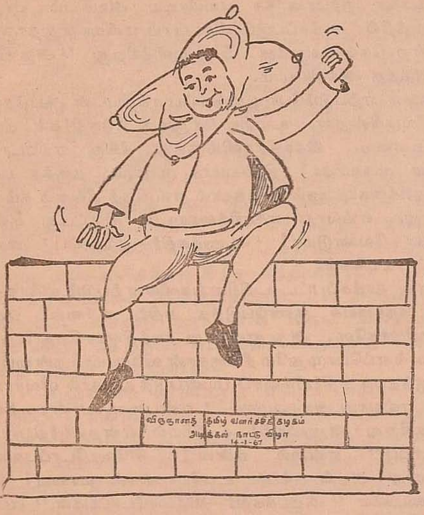
" கதிர்வீச்சால் தாக்கப்பட்ட உயிரினங்களில் ஏற்படும் விளைவுகள் யாவை? புற்று நோயைக் குணப்படுத்த கதிர் வீச்சைப் பயன் படுத்தலாம் என்கிறார்களே, அது எவ்வாறு சாத்தியமாகிறது? கதிர் வீச்சுத் தாக்குதலால் எப்பொழுதுமே தீங்குதான் விளையுமா? நன்மையே கிடையாதா? தகுந்தபடி கதிர்வீச்சைப் பயன்படுத்துவதால் விவசாயத் தில் நல்ல பலனை எவ்வாறு அடையலாம்?" என்பவை போன்றவற்றை விவரமாக விளக்குகிறது 'அணுக்கதிர்—உயிரியல்' என்ற அத்தியாயம்.

" ஐஸோடோப்பு " என்றால் என்ன? ஐஸோடோப்புகளைத் தயாரிப்பது எவ்வாறு? அதன் பற்பல உபயோகங்கள் யாவை? இவ் வினாக்களின் விடைகளை " அணுக்கதிர்—ஐஸோடோப்புகள் " என்ற அத்தியாயத்தில் காணலாம்.

இவ்வளவு தெரிந்து கொண்டபின் அணுகுண்டைப் பற்றியும் அறிய ஆவல் கொள்வது இயற்கையே! அணுகுண்டு, ஹைடிரஜன் குண்டு இவற்றைப் பற்றிக் கூறும் " அணு ஆயுதங்கள் " என்ற அத்தியாயம், இவை விளைவிக்கும் நாசத்தைப்பற்றி எடுத்துரைப்பதுடன், இவற்றை எவ்வாறு சமாதானப் பணிகளுக்குப் பயன்படுத்தலாம் என்றும் விளக்கு கிறது.

கடைசி அத்தியாயம் 'நம் நாட்டில் அணுசக்தித் துறை' என்பது. இதில் நம் நாட்டில் அணுசக்தியைப் பயன்படுத்துவதற்காக வரையப் பட்டுள்ள திட்டங்களைப் பற்றியும் அவற்றை நிறைவேற்றுவதற்காகப் பணியாற்றும் நிறுவனங்களைப் பற்றியும் பல விஷயங்கள் கூறப்படு கின்றன.

புத்தகத்துடன் அறிமுகமாகிவிட்டது. இனித் தயாராகி விட்டீர்களா? எதற்கென்று கேட்கிறீர்களா? 'அடிப்படை' உண்மைகளைத் தெரிந்து கொள்ளத்தான்; பக்கத்தைப் புரட்டுங்கள்.



2. அடிப்படை *

[எஸ். எச். சுப்ரமணியன், து. கிருஷ்ணன்]

பௌதிகம்[1] என்பது பொருள்களைப் பற்றியும் அவற்றில் ஏற்படும் மாறுதல்களைப் பற்றியும் விளக்கும் அறிவியற் பகுதி ஆகும். எந்திரவியல்[2], ஒளியியல்[3], வெப்பவியல்[4], மின்சார இயல்[5], அணுவியல்[6] என்பன பௌதிகத்தின் சில பிரிவுகளே. இவற்றிற்கெல்லாம் சக்தி[7], திறன்[8], விசை[9] என்பன அடிப்படையானவை ஆகும்.

---

* பின்வரும் அத்தியாயங்களில் வரவிருக்கும் விஷயங்களுக்கு ஆதாரமான சில செய்திகள் இங்கு சுருக்கமாகக் கொடுக்கப்படுகின்றன.

1. physics 2. mechanics 3. optics 4. heat 5. electricity 6, atomic physics 7. energy 8. power 9. force.

இயக்கமும்[1], இடப்பெயர்ச்சியும்[2]

ஒரு பொருள் ஓர் இடத்திலிருந்து மற்றோர் இடத்திற்கு நகர்தலை இடம் பெயர்தல் என்றும், அவ்வாறு இடம் பெயர்ந்த தூரத்தை 'இடப் பெயர்ச்சி' என்றும் கூறுகிறோம்.

இயக்கத்தைப் பல வகைகளாகக் கருதலாம். ஒரே திசையில் அல்லது ஒரே நேர்கோட்டில் உண்டாகும் இயக்கமும், அதனால் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சியும் ஒருவகை; துப்பாக்கியிலிருந்து வெளிப் படும் குண்டைப் போல. இதனை நேர்கோட்டியக்கம் எனலாம்.

இன்னொரு வகை இயக்கம் கடிகார முள்ளைப் போலவோ, சூரியனைச் சுற்றி வரும் கிரகங்களைப் போலவோ ஒரு புள்ளியை மையமாகக் கொண்டு அதனை வட்டப் பாதையில் சுற்றுவதாக இருக்கலாம். இதனைச் சுற்றியக்கம் எனலாம்.

எவ்வகை இயக்கமாயினும் அவற்றிற்கான அடிப்படைப் பௌதிக விதிகள் ஒன்றேயாம். இவற்றுள் நேர்கோட்டியக்கமே கருதுவதற்கு எளிதாகையால் அதன் மூலமாகச் சில பௌதிக விஷயங்களைக் கவனிப்போம்.

வேகம்

நேர்கோட்டியக்கத்தில், ஒரு பொருள் ஓர் இடத்திலிருந்து (அல்லது ஒரு புள்ளியிலிருந்து) மற்றோரிடத்திற்கு (அல்லது மற்றொரு புள்ளிக்கு) நகரும்போது, அது நகர்ந்த தூரமே அப்பொருளின் 'இடப்பெயர்ச்சி' ஆகும்.

ஒரு பொருளின் இடப்பெயர்ச்சியை (அதாவது இடப்பெயர்ச்சி தூரத்தை) அந்த இடப்பெயர்ச்சி ஏற்படுவதற்கு ஆகிய நேரத்தால் வகுக்க, அப்பொருளின் வேகம் கிடைக்கிறது. இதையே சமன்பாடாக,

$$\text{வேகம்} = \frac{\text{இடப்பெயர்ச்சி}}{\text{காலம்}}$$

என்று எழுதலாம்.

வேகத்தை செகண்டிற்கு இத்தனை சென்டிமீட்டர்* என்று குறிப்பிட வேண்டும்.†

வேகவளர்ச்சி வீதமும்[3], வேகத்தளர்ச்சி வீதமும்[4]

இயக்கத்தை ஏற்படுத்த விசை தேவை. ஒருமுறை விசையால் இயக்கப்பட்ட பொருள், செயல்படும் விசையை நீக்கிய பின்னும் இயங்

---

* இது C. G. S. அலகு முறையில் வேகத்தின் அலகாகும். இந்தப் புத்தகத்தில் பெரும்பாலும் C. G. S. (சென்டிமீட்டர்–கிராம்–செகண்டு) அலகு முறையே பயன் படுத்தப்பட்டிருக்கிறது.

† சாதாரண வழக்கில் வேகத்தை மணிக்கு இத்தனை மைல் என்பர்.

1. motion 2. displacement 3. acceleration 4. retardation or deceleration.

கிக்கொண்டே இருக்கும். விசையை நீக்கியபின் பொருளின் வேகம் மாருமல் ஒரே சீராக இருக்கும்.

இயங்கிக்கொண்டிருக்கும் ஒரு பொருளின் மீது விசை தொடர்ந்து செயல்படும்பொழுது, அப்பொருளின் வேகம் மாறிக்கொண்டே இருக்கும். ஒரு நேர்கோட்டில் இயங்கும் பொருளின்மேல், அது இயங்கும் திசையிலேயே விசை செயல்படுமானுல், அப்பொருளின் வேகம் அதிகரிக்கும். பொருளின் திசைக்கு நேர் எதிர்த் திசையில் விசை செயல்படுமானுல், பொருளின் வேகம் குறையும். ஆக, (இயங்கும்) பொருளின்மீது விசை செயல்படுவதால் வேகமாற்றம் ஏற்படும். இந்த மாறுபாடு ஏற்படும் வீதத்தையே வேகமாற்ற வீதம்[1] என்பர்.

(விசையின் பயனுக) இயங்கும் பொருளின் வேகம் அதிகரித்தால், ஏற்படும் வேகமாற்ற வீதத்தை வேகவளர்ச்சி வீதம் என்றும், வேகம் குறைவுற்ருல் ஏற்படும் வேகமாற்ற வீதத்தை வேகத்தளர்ச்சி வீதம் என்றும் கூறுகிருர்கள்.

வேகமாற்ற வீதத்தை ஒரு செகண்டிற்கு இவ்வளவு வேகம் என்று குறிப்பிடலாம். அதாவது, வேகமாற்ற வீதத்தின் அலகு, வேகம்/ செகண்டு அல்லது (செ. மீ./செகண்டு/செகண்டு).

விசை

ஒரு பொருளின்மீது செயல்படும் விசையின் அளவை அதன் பொருள் திணிவாலும்[2], அப்பொருளில் ஏற்படும் வேகமாற்ற வீதத்தாலும் அறியலாம்.

இதை விளக்க, அசைவற்றிருக்கும் ஒரு பொருளின் மேல் விசை செயல்பட்டு அதை இயங்கச் செய்வதாகக் கருதுவோம். பொருள் எடை* குறைவாக இருந்தால், அதற்கு ஒரு குறிப்பிட்ட வேகத்தைக் கொடுப்பது எளிதாக இருக்கிறது. பொருள் மிகக் கனமானதாக* இருந்தால், விசையும் அதிகமாக இருக்க வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது.

ஆகவே, ஒரு பொருளுக்கு ஒரு குறிப்பிட்ட வேகத்தைக் கொடுக்கத் தேவைப்படும் விசையானது அப்பொருளின் திணிவைப் பொறுத்து இருக்கும்.

தவிர, (நேர்கோட்டில் இயங்கும்) ஒரு பொருளின்மீது விசை செயல் பட்டுக் கொண்டே இருப்பதால் அப்பொருளின் வேகம் அதிகரித்துக் கொண்டே இருக்கிறது. பொருளும் வேகவளர்ச்சியைப் பெறுகிறது. செயல்படும் விசை மாருமல் ஒரே சீராக இருந்தால், இந்த வேகவளர்ச்சி

---

* புரிந்துகொள்ளும் பொருட்டு, பொருள் திணிவை இங்கு எடை அல்லது கனம் என்று கொள்ளலாம்.

1. rate of change of velocity 2. mass.

வீதமும் ஒரே சீராக இருக்கிறது. இப்பொழுது, செயல்படும் விசை அதிகரித்தால் வேகமும் மிகுதியாக அதிகரிக்கிறது. வேகவளர்ச்சி வீதமும் முன்னிருந்த சீரான அளவைவிட அதிகமாகிறது.

ஆகவே, இயங்கும் ஒரு பொருளின் வேகவளர்ச்சி வீதம் அதிகரிக்குமானல், அப்பொருளின் மேலுள்ள விசை அதிகமாயிற்று என்று கூறலாம்.

ஒரு பொருளின்மீது செயல்படும் விசை, அப்பொருளின் திணிவையும், அப்பொருளில் ஏற்படும் வேகமாற்ற வீதத்தையும் பொறுத்திருக்கும் என்ற உண்மையை,

$$F = m \times a$$

அதாவது, (விசை) = (பொருள்திணிவு) × (வேகமாற்றவீதம்) என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம்.

[m-கிராம்களிலும், a-செ.மீ./(செகண்டு)^{2}லும் இருந்தால் விசையின் அளவு டைன்[1]களில் பெறப்படும்.]

டைன் என்பது விசையின் ஓர் அலகு ஆகும்.

வேலே

விசையைச் செலுத்திப் பொருளே இடப்பெயர்ச்சி அடையச் செய்யும்பொழுது 'வேலே' நடந்ததாக இயக்கவியல் கருதுகின்றது. செயல்படும் விசையையும், விசையின் திசையில் பொருள் நகர்ந்த தூரத்தையும் பெருக்குவதால் கிடைக்கும் பெருக்கற்பலன் வேலே ஆகும்.

$$W = F \times s$$

(வேலே) = (விசை) × (விசையின் திசையில் இடப்பெயர்ச்சி)

சக்தி

வேலே செய்யச் சக்தி தேவை. வேலே செய்யவல்ல தன்மையைச் சக்தி என்கிறோம்.

வேலேயும் சக்தியும் ஒரே அலகுகளே உடையவை. ஒரு டைன் விசைகொண்டு ஒரு செ.மீ. தூரத்திற்கு ஒரு பொருளே நகர்த்தத் தேவைப்படும் சக்தியை ஒரு எர்கு[2] என்கிறோம். இதுவே சக்திக்கு ஓர் அலகாக அமைகிறது. C. G. S. முறையில், சக்தியின் பிற அலகுகளுக்கெல்லாம் இது அடிப்படை அலகாகும்.

சக்தியின் பல வடிவங்கள்

சக்தி சர்வ வியாபகமானது. உயரத்திலிருக்கும் ஒரு பொருள், சக்தியை நிலேசக்தி[3]யாகத் தேக்கிவைத்துக்கொண்டிருக்கிறது. பொருள் புவிஈர்ப்பினுல் கீழே விழும்போது, இச்சக்தியே இயங்குசக்தி[4] யாகப் பரிணமிக்கிறது. இதுபோலவே சக்தியானது வெப்பம், ஒளி,

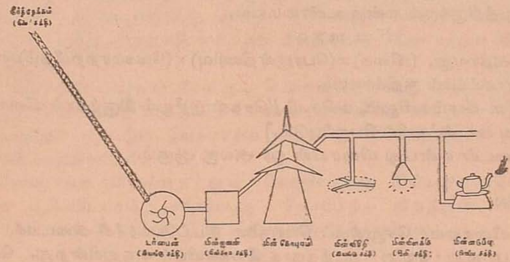
---

1. dyne 2. erg 3. potential energy 4. kinetic energy.

மின்சாரம் என்ற பல வடிவங்களிலும் தோன்றக்கூடும். சக்தி, ரசாயன சக்தி[1]யாகவும் தேக்கிவைக்கப்படலாம்.

சக்தி பல வகைகளாக மாறுபாடு அடைவதை படம் 2-1 விளக்குகிறது.

இதில், தரை மட்டத்திற்கு வெகு உயரத்தில் உள்ள தண்ணீர் நிலை சக்தியை உடையதாக இருக்கிறது. இதுவே நீர்வீழ்ச்சியாக மாறி ஒரு டர்பைனை[2] சுழல்விக்க உதவி செய்கிறது. டர்பைனுடன் இணைக்கப்



படம் 2-1. சக்தியின் வடிவ மாற்றம்

பட்ட மின்ஜனனியில் (டைனமோவில்) இயங்கு சக்தி மின்சார வடிவத்தை அடைகிறது. மின்சாரம் நம்வீட்டை அடைந்த பின்னர் மின் விசிறிகளில் இயங்கு சக்தியாகவும், மின்விளக்குகளில் ஒளி சக்தியாகவும், மின்னடுப்புகளில் வெப்ப சக்தியாகவும் மாற்றப்படுகிறது.

எலக்ட்ரான்–வோல்ட்[3]

தற்கால பௌதிகத் துறைகளின் ஆராய்ச்சிக்குப் பயன்படும் அடிப்படைத்துகள்களின்[4]சக்தி, அண்டக்கதிர்களின்[5]சக்தி ஆகியவற்றை அளந்து குறிப்பிட ஒரு புதிய அலகை வரையறுத்துள்ளனர். இதுவே எலெக்ட்ரான்-வோல்ட் ஆகும்.

எலக்ட்ரான்[6]போன்ற ஓரலகு மின்னேற்றத்தைக்[7]கொண்ட துகளானது ஒருவோல்ட் மின்னழுத்த வித்தியாசத்திற்கு உட்படுத்தப்படும்போது, அத்துகள் பெறும் சக்தியே ஒரு ‘ எலெக்ட்ரான்-வோல்ட் ’ ஆகும். *

---

* மின்னேற்றத்தைப் பற்றி இந்த அத்தியாய முடிவில் சுருக்கமாகக் கொடுக்கப்பட்டுள்ளதைக் காண்க.

1. chemical energy 2. turbine 3. electron-volt 4. fundamental particles 5. cosmic rays 6. electron 7. charge.

எலக்ட்ரான்-வோல்ட்டின் சுருக்கம் 'எ.வோ.'[1] ஆகும். ஒரு எலக்ட்ரான்-வோல்ட் சக்தி, $1{\cdot}6\times10^{-12}$* எர்குக்குச் சமமாகும். எனவே ஒரு எலக்ட்ரான்-வோல்ட் என்பது மிகச் சிறிய சக்தி அலகு என்பது தெளிவு.

அடிப்படைத்துகள்கள், அணுப்பிளவிலிருந்து வெளியாகும் துகள்கள் முதலியவற்றின் சக்தி எலக்ட்ரான்-வோல்ட்டைப்போல் பல மடங்குகளாக இருக்கின்றது. ஆகவே இவற்றிற்கு மில்லியன் எலக்ட்ரான்-வோல்ட் † என்ற அலகைப் பயன்படுத்துகிறுர்கள். இதன் சுருக்கம் 'மி.எ.வோ.'[2] ஆகும்.

சக்தி அழிவின்மைக் கொள்கை[3]

"சக்தி அழிவில்லாதது; அது ஒரு வடிவத்திலிருந்து வேறு வடிவத்திற்கு நிலைமாற்றம் எய்துமே தவிர, அழிந்துவிடுவதில்லை" என்பதே இக்கொள்கையின் சாராம்சமாகும்.

---

* மிகப்பெரிய எண்களையோ, மிகச்சிறிய எண்களையோ 10இன் வர்க்கமாகக் குறிப்பது வழக்கமாகும். (உ-ம்):

$10^2 = 100$; அதாவது 1ஐத் தொடர்ந்து 2 பூஜ்யங்கள்.

$10^3 = 1000$; அதாவது 1ஐத் தொடர்ந்து 3 பூஜ்யங்கள்.

இவ்வாறே 10^{12} = 1ஐத் தொடர்ந்து 12 பூஜ்யங்கள்.

இதுபோலவே,

$$10^{-2} = \frac{1}{10^2} = \frac{1}{100}$$ அதாவது 10^2இல் ஒரு பங்கு.

$$10^{-3} = \frac{1}{10^3} = \frac{1}{1000}$$ அதாவது 10^3இல் ஒரு பங்கு.

இவ்வாறே,

$$1{\cdot}6\times10^{-12} = \frac{1{\cdot}6}{10^{12}} = 0{\cdot}000,000,000\ 0016$$

† அளவுகளின் மடங்குகளைக் குறிக்க, சில ஆங்கில, கிரேக்க அடைமொழிகளை உபயோகிக்கிறுர்கள். (உ-ம்):

மில்லியன் = 10 லட்சம்; மில்லியன் எ.வோ. = 10^6 எ.வோ.

மெகா = 10 லட்சம்; மெகா வாட் = 10^6 வாட்

கிலோ = ஆயிரம்; கிலோகிராம் = 1000 கிராம்

சென்டி = நூறில்ஒருபங்கு; சென்டிமீட்டர் = $\frac{1}{100}$ மீட்டர்.

மில்லி = ஆயிரத்தில்ஒரு பங்கு; மில்லிசெகண்டு = $\frac{1}{1000}$ செகண்டு

மைக்ரோ = பத்து லட்சத்தில் ஒரு பங்கு; மைக்ரோக்யூரி = $\frac{1}{1000000}$ க்யூரி

1. ev 2. Mev 3. principle of conservation of energy

முன்பு, படவடிவத்தில் சக்தியின் பலவடிவங்களுக்குக் கொடுக்கப் பட்ட உதாரணத்தில், நிலைசக்தி இயங்கு சக்தியாகி டர்பைனைச் சுழல் வித்தும், அதுவே மின்ஜனனி[1]யில் மின்சக்தியாகியும், அதே மின்சக்தி மறுபடி இயங்கு சக்தியாகவோ, வெப்ப சக்தியாகவோ ஒளியாகவோ மாறுவதையும் கண்டோம். அதாவது சக்தி அழிந்து படுவதில்லை; வடிவமாற்றம் மட்டுமே அடைகிறது.

சக்திமாற்றம்[2]

ஓர் அனல்மின் நிலையத்தில்[3] ஏராளமான நிலக்கரி எரிக்கப்பட்டு வெப்பசக்தி உண்டாக்கப்படுகிறது. இச்சக்தியைப் பயன்படுத்தி, தண்ணீரை நீராவியாக்குகிறார்கள். இந்த நீராவி மின்சாரத்தை உண்டாக்கப் பயன்படுகிறது.

ஒரு டன்[4]நிலக்கரி எரிவதால் கிடைக்கும் சக்தி T கலோரி[5]களாக* இருக்கட்டும். இதனால் உண்டாக்கப்படும் மின்சாரசக்தி E கலோரிகளுக்குச் சமமாக இருக்கட்டும். சக்தி அழிவின்மைக் கொள்கையின்படி, $T=E$ என்பது உண்மையாக இருக்கவேண்டும். நடைமுறையில், Tயின் மதிப்பும், Eயின் மதிப்பும் வேறுபடுகின்றன. இதற்குக் காரணம், வெப்பத்தை மின்சாரமாக மாற்றப் பயன்படும் எந்திரங்களில் (அல்லது அமைப்புகளில்[6]) ஓரளவு வெப்பம் நஷ்டமாகி விடுவதுதான். இவ்வாறு இழக்கப்படும் சக்தியையும் Eயுடன் சேர்த்தால், கிடைக்கும் கூட்டுத்தொகை Tக்குச் சமமாக இருக்கும். †

பொருண்மை[7]யும், சக்தியும்

சக்தியின் பல வடிவங்களைப் பற்றியும், அது ஒரு வடிவிலிருந்து மற்றொரு வடிவிற்கு மாறவல்லது என்பதையும் கண்டோம். இந்த நூற்றாண்டில், பொருண்மையும் சக்தியின் ஒரு வடிவே என்றும், பொருண்மை சக்தியாகவும், சக்தி பொருண்மையாகவும் மாற முடியும் என்றும் விஞ்ஞானிகள் கண்டனர்.

---

*கலோரி—வெப்ப சக்தியின் ஓர் அலகு. இது 1 கிராம் அளவு நீரின் உஷ்ண நிலையை 1°C உயர்த்தத் தேவைப்படும் வெப்பமாகும்.

† பொதுவாக, ஒரு வடிவ சக்தியை வேறொரு வடிவாக மாற்றும் எந்திரத்தின் (அல்லது அமைப்பின்) சக்திமாற்றத் திறமையை[8]ப் பின்வருமாறு குறிக்கலாம்.

$$\text{சக்திமாற்றத் திறமை} = \frac{\text{எந்திரத்திலிருந்து பெறப்படும் சக்தி}}{\text{எந்திரத்திற்குக் கொடுக்கப்படும் சக்தி}}$$

1. generator 2. conversion of energy 3. thermal power station 4. tonne = 1000 kg. 5. calorie 6. systems 7. matter 8 . conversion efficiency.

பாஸிட்ரான்[1], எலக்ட்ரான் என்ற இரு துகள்கள்* ஒன்றோடொன்று மோதிய பின்பு இரு துகள்களுமே மறைதலை விஞ்ஞானிகள் கண்டனர். இம்மறைதலைத் தொடர்ந்து ஃபோட்டான்[2] என்ற இம்மி வடிவ சக்தி[3] வெளிப்பட்டது. இதனால் பெறப்பட்ட முடிவு, பாஸிட்ரானும், எலக்ட்ரானும் தம் பொருண்மையை இழக்கும்போது சக்தியைத் தோற்றுவிக்கின்றன என்பதாகும்.

இவ்வாறு பொருண்மை மறையும்போது வெளிப்படும் சக்தியின் அளவைக் கணக்கிடும் முறையைப் பிற்சேர்க்கை—1இல் காண்க.

அணுசக்தி

அணுவிலிருந்து சக்தி வெளிப்படுவதன் அடிப்படைத் தத்துவமும் இதுவேதான். பிளவுபடக்கூடிய[4] யுரேனியம் போன்ற பொருள்களின் அணுக்கள் பிளவுறும்போது பொருண்மையில் சிறிது இழப்பு† நேர்கிறது. இப்பொருண்மை பேரளவான சக்தியாக வெளிப்படுகிறது.

திறன்

வேலை செய்யப்படும் வீதத்தையே திறன் என்கிறோம். செகண்டிற்கு ஓர் எர்கு வீதம் வேலை செய்யப்பட்டால், திறனின் அளவு ஒரு செகண்டுக்கு ஓர் எர்கு ஆகும்.

திறனின் மதிப்பு ஒரு செகண்டிற்கு 1 ஜூலெ[5]ஆக இருந்தால், அந்தத் திறனே 1 'வாட்'[6] ஆகும். ['குதிரைத் திறன்'[7] என்னும் மற்றோர் அலகு எந்திரங்களின் வேலை செய்யும் திறனைக் குறிக்கப் பெரிதும் வழக்கத்தில் இருந்து வருகிறது. இந்தக் குதிரைத் திறன் 746 வாட்டுகளுக்குச் சமமானதாகும்.]

திறனும், மின்சக்தியும்

மின்சாரப் பொறியியலில் திறனை ஆதாரமாக வைத்து, செலவழிக்கப்படும் சக்தியை அளக்கின்றனர்.

ஒரு கிலோவாட் வீதத்தில் மின்சக்தியை ஒரு மணி நேரம் தொடர்ந்து பயன்படுத்தினால் செலவழிக்கப்பட்ட மின்சக்தி ஒரு 'கிலோவாட்-மணி'[8] ஆகும்.

---

* இவை அடிப்படைத் துகள்களில் இரண்டு. இத்தகைய ஜோடிகள் ஒன்றுக்கொன்று எதிரான இயல்புகளைப் பெற்றிருப்பதால் 'எதிரியல் துகள்கள்'[9] எனப்படுகின்றன.

† இவை பற்றிய விவரங்களை 'அணு' என்ற அடுத்த அத்தியாயத்தில் காண்க. பிளவிலிருந்து வெளிப்படும் சக்தியின் அளவைக் கணக்கிடும் முறையைப் பிற்சேர்க்கை—2இல் காண்க.

1. positron 2. photon 3. quantum of energy 4. fissile 5. joule (= 10^7 ergs) 6. watt 7. horse power 8. kilowatt-hour (or KWH) 9. antiparticles.

உதாரணமாக, ஒரு பல்பு எரிவதால் செலவாகும் மின்சக்தியைக் கணக்கிடுவோம். ஒரு நூறு வாட் பல்பு ஒரு நாளேக்கு 5 மணி நேரம் வீதம் ஒரு மாதம் எரிவதாகக் கொள்வோம்.

செலவாகும் மொத்த மின் சக்தி $= 100 \times 5 \times 30$
$= 15,000$ வாட்–மணிகள்
அல்லது 15 கிலோவாட்–மணிகள்.

இதையே 15 யூனிட்டு[1]கள் என்றும் கூறுவர்.

அணுஉலேகளின் திறன்

அணுஉலேகளிலிருந்து வெளிப்படும் சக்தியின் வீதத்தை, அதாவது திறனே, கிலோவாட் (KW), மெகாவாட் (MW) என்ற அலகுகளில் குறிப்பிடுகிருர்கள். ஓர் அணுமின் நிலேயத்தில்[2] அணுசக்தி முதலில் வெப்ப சக்தியாக வெளிப்படுகிறது. பிறகு இவ் வெப்ப சக்தி மின்சக்தியாக மாற்றப்படுகிறது. இவ்வாறு மாற்றப்படும்பொழுது தவிர்க்க முடியாத சில காரணங்களால் சக்தி நஷ்டம் ஏற்படுகிறது. ஆகவே கிடைக்கும் மின்சக்தி, வெளிப்பட்ட வெப்பசக்தியை விடக் குறைவாகவே இருக்கிறது.

எனவே, அணுஉலேயைப் பொறுத்தவரை இரண்டு வகை திறன்களேக் குறிப்பிடலாம். இவற்றை முறையே மெகாவாட் (வெப்பம்)[3] என்றும், மெகாவாட் (மின்சாரம்)[4] என்றும் குறிக்கிருர்கள். பின்னது முன்னதைவிடக் குறைவாகத்தான் இருக்குமென்பது கண்கூடு.

சாராம்சம்

இயக்கவியலில் கருதப்படும் பலவகை ராசிகளே[5]யும், அவற்றின் அலகுகளேயும் அட்டவணே 2-1 சுருங்கக் கூறுகின்றது.

அட்டவணே 2-1

ராசி	அலகு	வரையறை
1. வேகம்	செ.மீ./செக.	$\frac{\text{இடப்பெயர்ச்சி}}{\text{காலம்}}$
2. வேக மாற்ற வீதம்	வேகம்/செக. (அல்) செ.மீ./(செக.)^2	$\frac{\text{வேகவித்தியாசம்}}{\text{காலம்}}$
3. விசை	டைன்	(பொருள் திணிவு) × (வேகமாற்ற வீதம்)
4. சக்தி	1. எர்கு 2. ஜுல்	(விசை) × (விசையின் திசையில் இடப்பெயர்ச்சி)
5. திறன்	வாட்	$\frac{\text{சக்தி (பெறப்படுவது)}}{\text{காலம்}}$

1. unit 2. atomic power station 3. MW (t) 4. MW (e) 5. quantities.

இந்த ராசிகளுள், சக்தி என்பது பௌதிகத்தின் வெவ்வேறு துறைகளில் வெவ்வேறு அலகுகளால் அளக்கப்படுகிறது என்று கண்டோம். அவற்றுள் சிலவற்றை அட்டவணை 2-2இல் காண்க.

அட்டவணை 2-2

பௌதிகத் துறை	சக்தி அலகு	சக்தியின் அளவு
1. இயக்கவியல்	1. எர்கு	(டைன்) × (செ.மீ.)
	2. ஜூல்	10^7 எர்கு
2. வெப்பவியல்	1. கலோரி	4·2 ஜூல்கள்
	2. கிலோ கலோரி	1000 கலோரி
3. மின்சாரவியல்	கிலோ - வாட் - மணி (அல்லது) யூனிட்	$3{\cdot}6 \times 10^6$ ஜூல்
4. அணுவியல்	1. எலக்ட்ரான் - வோல்ட்	$1{\cdot}6 \times 10^{-12}$ எர்கு
	2. மில்லியன் எ. வோ.	10^6 எ. வோ.
	3. பில்லியன்[1] எ. வோ.	10^9 எ. வோ.*

வெப்பமும் பொருள்களும்

பொருளும் மூலக்கூறும்

பொருள்கள் அனைத்தும் மூலக்கூறு[2]களால் ஆனவை. திட நிலையில் உள்ள பொருள்களில் மூலக்கூறுகள் அடர்ந்து, ஒன்றோடொன்று நெருங்கியுள்ளன. திரவ நிலையிலுள்ள பொருள்களில், திட நிலையில் உள்ளவற்றைப்போல் மூலக்கூறுகள் அவ்வளவு அடர்ந்து இருப்பதில்லை. வாயு நிலையில் உள்ள பொருள்களில் மூலக்கூறுகளின் நெருக்கம் இன்னும் மிகக் குறைந்து விடுகிறது.

திடம், திரவம், வாயு என்ற மூன்றும் ஒரே பொருளின் வெவ்வேறு நிலைகளே. திடப் பொருளைச் சூடாக்கினால் ஒரு உஷ்ண நிலையை அடைந்தபின் அது உருகி திரவமாகிறது. இத் திரவத்தைப் பின்னும் சூடாக்கினால் வேறொரு உஷ்ண நிலையில் அது ஆவியாகிறது. மறுதலையாக எந்த ஒரு வாயுவையும், தகுந்த சூழ்நிலையில், (அதாவது தேவையான அழுத்தத்தில்) குளிர்வித்தால் முதலில் திரவமாகும். திரவத்தைக் குளிர்வித்தால் திடப் பொருளாகும்.

* பெரும்பாலும் கடைப்பிடிக்கப்படும் வழக்கப்படி.

1. billion 2. molecule.

வாயுக்களின் இயக்கக் கொள்கை[1]

வாயுக்கள் மூலக்கூறுகளால் ஆனவை என்றும், இம் மூலக்கூறுகள் நெருக்கமின்றி அமைந்திருக்கின்றன என்றும் மேலே கண்டோம். வெப்பத்தினுல் வாயுக்களின் மூலக்கூறுகளில் ஏற்படும் சக்தி வேறுபாடு போன்றவைகளை வாயுக்களின் இயக்கக் கொள்கை விளக்குகிறது.

இந்தக் கொள்கையின்படி வாயுக்களின் மூலக்கூறுகள் ஓய்வின்றி எப்பொழுதும் சஞ்சரித்துக் கொண்டே இருக்கின்றன. அவை இங்கும் அங்கும் ஓடியும், ஒன்ருேடொன்று மோதியும் எப்பொழுதும் இயக்கம் உடையனவாக இருக்கின்றன. வாயுக்களை மேன்மேலும் சூடாக்கினுல் மூலக் கூறுகளின் இந்த இயக்கம் மேலும் மேலும் அதிகமாகின்றது. இதற்குக் காரணம், வெப்பசக்தி மூலக்கூறுகளின் இயங்கு சக்தியாகப் பரிணமிப்பதே ஆகும்.

சார்பிலாப் பூஜ்யம்[2]

மேற்கூறியது போலவே உஷ்ணநிலை குறையக் குறைய மூலக் கூறுகளின் இயக்கம் குறைந்துகொண்டே வரும். இந்த நோக்கில் பார்த்தால் (மிகக் குறைந்த) ஏதோ ஒரு குறிப்பிட்ட உஷ்ணநிலையில் மூலக்கூறுகள் இயக்கம் இல்லாதனவாக ஆகிவிடவேண்டும் என்று தெரிகிறது. இந்த உஷ்ணநிலையை 'சார்பிலாப் பூஜ்யம்' அல்லது 'சார்பிலாப் பூஜ்யநிலை' என்று கூறுவர்.

இந்த சார்பிலாப் பூஜ்யநிலை எல்லா இயக்கத்திற்கும், இயக்கத் தோடு இயைந்துள்ள சக்திக்கும் ஒரு கீழ்வரம்பாக[3] அமைகிறது. இந்த உஷ்ணநிலை சென்டிகிரேடு அலகுமுறையில் $-273°$ எனக் கணக்கிடப்பட்டிருக்கிறது.

சார்பிலா உஷ்ணநிலை அளவு முறை

இந்த சார்பிலாப் பூஜ்யத்தைத் தொடக்கமாகக்கொண்டு ஒரு உஷ்ண நிலை அளவுமுறை அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதைச் "சார்பிலா உஷ்ணநிலை அளவுமுறை" என்ருே "கெல்வின் உஷ்ணநிலை அளவு முறை"[4] என்ருே கூறுகிருர்கள். இந்த முறையிலும், ஒரு டிகிரி அளவான உஷ்ணநிலை வித்தியாசம் ஒரு டிகிரி சென்டிகிரேடுக்குச் சமமாகும். தண்ணீரின் உறைநிலையான 0°C இந்தப் புதிய அளவுமுறை யில் 273 டிகிரிகளாகும். இதை, தண்ணீரின் உறைநிலை, 273°A என்ருே, 273°K என்ருே குறிப்பிடலாம்.

மேற்கூறியவற்ருல், சென்டிகிரேடு முறையில் $x°$ என்று குறிக்கப் படும் உஷ்ணநிலை, சார்பிலா முறையில் $(273+x)°$ ஆகும், என்று விளங்குகிறது.*

---

* பல விஞ்ஞானக் கணக்கீடுகளில் உஷ்ணநிலையை சார்பிலா முறையில் மாற் றிய பின்னரே, கணக்கிடுதல் வேண்டும்.

1. kinetic theory of gases 2. absolute zero 3. lower limit 4. absolute or Kelvin scale of temperature.

அறை உஷ்ண நிலை[1]யில் மூலக்கூறுகளின் சக்தி :

ஒரு வாயுப்பொருளின் உஷ்ணநிலையை ஒரு டிகிரி சென்டிகிரேட் (அல்லது 1°C) அதிகமாக்குவதற்கு, அவ்வாயுவிலுள்ள ஒவ்வொரு மூலக்கூற்றுக்கும் சராசரியாகக் கொடுக்கப்படவேண்டிய சக்தி $1{\cdot}38\times10^{-16}$ எர்கு ஆகும். கொடுக்கப்பட்ட மொத்த சக்தியினின்று ஒவ்வொரு மூலக்கூறும் சராசரியாகப் பெறுகின்ற சக்தியைக் குறிக்கும் இந்த எண்ணை போல்ட்ஸ்மன் நிலையெண்[2] என்று கூறுவர்.

அறை உஷ்ணநிலையை 20°C என்று கொண்டால், மூலக்கூற்றின் சராசரி சக்தியைக் கணக்கிட்டுவிடலாம்.* இது ·025 எலக்ட்ரான் வோல்ட்டுக்குச் சமமாக இருக்கிறது.

வெப்ப நியூட்ரான்[3]

அறை உஷ்ணநிலையிலுள்ள வாயுவின் ஒவ்வொரு மூலக்கூறும் 0·025 எ. வோ. சக்தி உடையதாயிருக்கும் என்று கண்டோம். சுமார் 0·025 எ. வோ. சக்திகொண்ட ஒரு நியூட்ரானை† அறை வெப்ப நிலையிலுள்ள மூலக்கூறுகளுக்கு ஒப்பாகக் கருதி வெப்ப நியூட்ரான் என்று கூறுவது வழக்கம். இவ்வகை நியூட்ரான்களும், அறை உஷ்ண நிலையிலுள்ள வாயு மூலக்கூறுகளும் இயக்கத்தில் ஒன்றையொன்று ஒத்திருக்கும் என்று கொள்ளலாம்.

அணுப்பிளவு போன்ற கிரியைகளில் வெளியாகும் மிக அதிக சக்தி கொண்ட வேக நியூட்ரான்கள்[4], பிற மூலக்கூறுகளோடு மோதி, தம் சக்தியை இழக்கின்றன. இவ்வாறு இழப்பதால் வேகம் குறைந்து,

---

* அறை உஷ்ணநிலை $= 20°C$
$= (273+20)°A$

1°A அல்லது 1°C உஷ்ணநிலை உயர்வுக்குச் சமமான மூலக்கூற்று சக்தி $= 1{\cdot}38\times10^{-16}$ எர்கு

மூலக்கூறு சக்தியற்ற சார்பிலாப் பூஜ்யநிலையிலிருந்து உயர்த்தப்பட்டுள்ள உஷ்ணநிலை $= (273+20)$ டிகிரிகள்

∴ மூலக்கூற்றின் சக்தி $= 1{\cdot}38\times10^{-16}\times(273+20)$
$= 4\times10^{-14}$ எர்கு

1 எ. வோ. $= 1{\cdot}6\times10^{-12}$ எர்கு

∴ மூலக்கூற்றின் சக்தி $= \dfrac{4\times10^{-14}}{1{\cdot}6\times10^{-12}}$
$= {\cdot}025$ எ. வோ.

† அணுவின் அமைப்பில் முக்கிய இடம் வகிப்பதும், அணுசக்திக்கு ஆதாரமான அணுப்பிளவுக்கு அடிப்படையாக இருப்பதும் ஆன அடிப்படைத் துகளான நியூட்ரானைப் பற்றிய விவரங்களைப் பின்வரும் அத்தியாயங்களில் காணலாம்.

1. room temperature 2. Boltzmann's constant 3. thermal neutron 4. fast neutrons.

முதலில் குறைவேக நியூட்ரானுகி[1], பின்னர் வெப்ப நியூட்ரான்களாகின்றன.

ஒரு வாயுப்பொருளின் உஷ்ணநிலை மாருது இருந்தாலும், வாயு மூலக்கூறுகள் ஒன்றுடன் ஒன்று மோதவே செய்யும். இதனுல் எந்த ஒரு மூலக்கூற்றின் சக்தியும் ஒரே மதிப்பாக இல்லாமல், சில சமயம் அதிகரிக்கவும் சில சமயம் குறையவும் செய்யும். அதாவது, மூலக் கூறுகளின் இயங்குசக்தி கணத்துக்குக் கணம் மாறிக்கொண்டே இருக்கும். என்ருலும், மூலக்கூறுகளின் மொத்தசக்தி அவைகளுக் கிடையே பகிர்ந்துகொள்ளப்படுவதால், சராசரி இயங்குசக்தியின் மதிப்பு மாருது. இந்நிலையில், வாயுவிலுள்ள எல்லா மூலக்கூறுகளுமே இந்தச் சராசரி இயங்குசக்தியைக் கொண்டுள்ளனவாகக் கருதலாம். இவ்வாறுள்ள ஒரு சமநிலையை, இயங்குசமநிலை[2] என்பர்.

இதுபோலவே வெப்ப நியூட்ரான்களும், அறை உஷ்ணநிலையிலுள்ள மூலக்கூறுகளுடன் சமநிலையை அடைகின்றன.*

வெப்ப நியூட்ரானின் வேகம்

நியூட்ரானின் பொருள் திணிவு $1{\cdot}675 \times 10^{-24}$ கிராம் என்று எடுத்துக்கொண்டு, ·025 எ.வோ. சக்திகொண்ட வெப்ப நியூட்ரானின் வேகத்தைக் கணக்கிடலாம்.† இது செகண்டுக்கு 2000 மீட்டர் அல்லது மணிக்கு 4000 மைல்கள் ஆகும்!

மோதல்[3]

இரு பொருள்கள் மோதும்போது அவற்றினிடையே சக்திப் பரிமாற்றம் நடைபெறுகிறது. பொதுவாக, அதிக சக்தி கொண்ட பொருள், மோதல் காரணமாகத் தன் சக்தியில் ஒரு பங்கை மற்றப் பொருளுடன் பகிர்ந்து கொள்கிறது. எனவே, மோதும் இரு பொருள் களும் தமது முந்தைய வேகங்கள் மாறப்பெற்று, புதிய வேகங்களை அடைகின்றன. தக்க பௌதிக விதிகளின் மூலம், மோதலின் பின் பொருள்களின் சக்தி, வேகம், திசை இவற்றைக் கணக்கிட முடியும்.

ஆனுல், இக்கணக்கீடு, மோதலின் தன்மையையும் பொறுத்திருக் கிறது. பொதுவாக, மோதல்களை இருவகையாகப் பிரிக்கலாம். அவை யாவன :

(1) மீட்சிமோதல்[4] (2) மீட்சியிலா மோதல்[5]

---

* இதனுல்தான் வெப்ப நியூட்ரான்கள், அணுக்கருக்களால் கவரப்படாத வரையிலும் இயங்கிவருகின்றன. சக்தியும் குறையாமலிருக்கின்றது.

† கணக்கிடும் முறையைப் பிற்சேர்க்கை 4இல் காண்க.

1. slow neutron 2. dynamic equilibrium 3. collision 4. elastic collision 5. inelastic collision.

மீட்சிமோதல்

இரு பொருள்கள் ஒன்றேடொன்று மோதிக்கொள்ளும்போது, மோதல் காரணமாக அவற்றின் மொத்த இயங்கு சக்தியில், இழப்பு ஏற்படாமல் அப்பொருள்களுக்கிடையே சக்திப் பரிமாற்றம் ஏற்படு மாஞல் அவ்வகை மோதலை 'மீட்சி மோதல்' எனலாம்.

இவ்வகை மோதலில், மோதும் பொருள்களின் மொத்த இயங்கு சக்தி, மோதலுக்கு முன்னரும் பின்னரும் சமமாக இருக்கும்.

(வழுவழுப்பாகவும், கோளவடிவிலும் இருக்கும்) பில்லியர்டு பந்து களின் மோதுதலை மீட்சிமோதலுக்கு உதாரணமாகக் கூறுவது வழக்கு. எனவே, மீட்சி மோதல்களுக்கு **பில்லியர்டு பந்து மோதல்கள்**[1] என்ற காரணப்பெயரும் உண்டு.

மீட்சியிலா மோதல்

மேற்கூறிய மீட்சிமோதலில் மோதலுக்கு முன்னும் பின்னும் உள்ள மொத்த (இயங்கு) சக்தி மாருமல் இருக்கும். மற்றெரு வகை மோதலில், மோதல் காரணமாக வெப்பமோ (அல்லது வேறு விதத்தில் சக்தி இழப்போ) ஏற்படலாம். அப்பொழுது மொத்த இயங்கு சக்தியில் மாறுபாடு ஏற்படுவதால், மீட்சிமோதலுக்குரிய சமன்பாடுகள் பொருந்தா. இவ்வகை மோதல்களை மீட்சியிலா மோதல்கள் என்று கூறுவர்.

நியூட்ரான்–தணிப்பான் மோதல்

மீட்சி மோதலுக்கு ஓர் எடுத்துக்காட்டாக **அணுஉலை**[2]யில் **தணிப்பான்**[3] செய்யும் வேலையைக்* குறிப்பிடலாம். அணுஉலையில் உண்டாகும் வேக நியூட்ரான்கள் தணிப்பானின் அணுக்களோடு (அல்லது மூலக்கூறுகளோடு) மோதுவதால் நியூட்ரான்களின் வேகம் குறைகிறது. (இந்தச் செயல்முறையே **தணித்தல்**[4] ஆகும்.)

தணிப்பான் அணுவின் **திணிவெண்**[5] A ஆக இருந்தால் மோத லின் பின் நியூட்ரானின் வேகமும், சக்தியும் கீழ்க்கண்டவாறு இருக்கும் என்று கணக்கிடலாம் :

$$v_2^2 = v_1^2 \, \frac{A^2 - 2A\cos\theta + 1}{(A+1)^2}$$

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{v_2^2}{v_1^2} = \frac{A^2 - 2A\cos\theta + 1}{(A+1)^2}$$

---

*இதைப் பற்றிய விளக்கங்களுக்கு பின்ஞல் வரவிருக்கும் அத்தியாயங்களைப் பார்க்க.

1. billiard ball collisions 2. reactor 3. moderator 4. moderation 5. mass number.

[இங்கு, E_2, v_2 என்பன மோதலுக்குப் பின் நியூட்ரானின் முறையே சக்தியும் வேகமுமாம். இவ்வாறே E_1, v_1 என்பன மோதலுக்கு முன் உள்ளவை. θ என்ற கோணத்தின் அளவு, மோதலுக்குப் பின் நியூட்ரான் செல்லும் திசையைக் குறிக்கிறது.]

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து, வேக நியூட்ரானின் வேகத்தில் ஏற்படும் மாறுதல், தணிப்பானின் அணுத்திணிவெண்ணுன Aஐப் பொறுத்திருக்கிறது என்பது விளங்குகிறது. ஒரு சிறந்த தணிப்பான் என்பது குறைந்த மோதல்களில் அதிகமான வேகக்குறைப்பை ஏற்படுத்த வேண்டும். சமன்பாட்டிலிருந்து, வேகக் குறைப்பு அதிகபக்ஷமாக இருப்பது, தணிப்பானின் திணிவும், நியூட்ரானின் திணிவும் சமமாக இருக்கும்போதுதான் என்று அறியலாம். ஹைடிரஜன் அணுவின் திணிவு ஏறக்குறைய நியூட்ரான் திணிவுக்குச் சமமாக இருப்பதால், ஹைடிரஜன் ஒரு நல்ல தணிப்பாளுதல் வேண்டும்.*

இவ்வாறே, வேக நியூட்ரான் வேண்டாத இடங்களில், அவற்றைத் தடுத்து நிறுத்தப் பயன்படும் தடுப்புகள்[1] அவற்றின் வேகத்தைக் குறைக்கவேண்டும். இக்காரணத்தால்தான் இத்தடுப்புகளில் பாரஃபின் மெழுகு[2] போன்ற ஹைடிரஜன் மிக்க கூட்டுப்பொருள்கள் பயன்படுகின்றன.

வேக நியூட்ரானின் மீட்சியிலா மோதல்

அணுத்திணிவெண் அதிகமான ஊடகங்களின்[3] வழியே வேக நியூட்ரான்கள் செல்லும்போது, மீட்சியிலா மோதல்களினுலும் தம் சக்தியில் ஒரு பங்கை இழக்கின்றன.

வேக நியூட்ரான்களின் வேகத்தணிப்புச் செயலை முன்பே மீட்சி மோதலுக்கு உதாரணமாகக் கூறினேம்.

ஆக, இரு பொருள்களுக்கிடையே நிகழும் மோதல் இருவகை மோதல்களுள் எவ்வகையானதாகவும் இருக்கலாம் என்று விளங்குகிறது. சிலபோது மீட்சிமோதல் ஏற்படலாம்; சில சமயம் மீட்சியிலா மோதல் நிகழலாம்.

சாராம்சம்

அட்டவணை 2-3 இருவகை மோதல்களைப்பற்றிக் கூறப்பட்ட கருத்துக்களைத் தெளிவாக்குகிறது.

---

* நடைமுறையிலுள்ள இடர்ப்பாடுகளாலும், வேறு சில பௌதிகக் காரணங்களாலும் ஹைடிரஜன் மிகச் சிறந்த தணிப்பாளுக விளங்குவதில்லை. இவற்றை ‘அணுஉலை-பௌதிகம்’ என்ற அத்தியாயத்தில் காண்க.

1. shields 2. paraffin wax 3. media.

அட்டவணை 2-3

இயக்கவியலில் மோதல்

மீட்சி மோதல்	மீட்சியிலா மோதல்
1. சக்தி இழப்பில்லாத மோதல்	1. வெப்பம் போன்ற சக்தி மாற்றங்களால் சக்தி இழப்பு ஏற்படக்கூடிய மோதல்
2. மொத்த இயங்கு சக்தியும் மொத்தத் திணிவு வேகமும்†, மோதலுக்கு முன்னும் பின்னும் மாறுவதில்லை	2. இயங்கு சக்தி மாறுவிதி பொருந்தாது
3. மோதிய பொருளின் வேகம் குறைகிறது; அதன் திசையும் மாறுகிறது. (உ-ம்.) இரண்டு பில்லியர்டு பந்துகள், நியூட்ரான்-தணிப்பான் அணு	3. மோதிய பொருளின் வேகம் வெகுவாகக் குறைகிறது. (உ-ம்.) வேக நியூட்ரான்-கனமூலக அணு.

நியூட்ரானின் பிற இடையீட்டுச் செயல்கள்[1]

மேற்கூறியவை தவிர, நியூட்ரான் பிற அணுக்களோடு மோதும் போது, பலவகையான கிரியைகளை உண்டாக்குகிறது.* அவற்றையும் சேர்த்துச் சிலபோது மோதல்களாகக் குறிப்பிட்டாலும் அவை மேற்கூறிய பாகுபாட்டுள் அமையா.

மின்னேற்றம்[2] :

மின்சாரத்திற்கு அடிப்படையானது **மின்னேற்றம்** ஆகும். மின்னேற்றம் இருவகைப்படும். அவையாவன :

(i) நேர் மின்னேற்றம் அல்லது பாஸிட்டிவ் மின்னேற்றம் ;

(ii) எதிர் மின்னேற்றம் அல்லது நெகட்டிவ் மின்னேற்றம்.

மின்னேற்றம் பெற்ற இரு பொருள்கள் அருகே அமைந்துள்ளதாகக் கருதுவோம். அவைபற்றிய கீழ்க்காணும் உண்மைகள் அறியப் பட்டுள்ளன :

---

* இவற்றின் விவரம் 'அணு' என்ற அத்தியாயத்தில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

†இயங்கும் ஒரு பொருளின் திணிவு, அதன் வேகம் ஆகியவற்றின் பெருக்கற் பலனை **திணிவு வேகம்** (momentum) என்பர். சக்தியைப் போலவே, இத்திணிவு வேகமும் இயங்கும் பொருளின் அடிப்படைக் குணங்களுள் ஒன்றாகும். சக்தி அழிவின்மை விதி போல, திணிவுவேகம் மாறுவிதியும் உண்டு.

1. interactions 2. (electric) charge.

(1) மின்னேற்றம் பெற்ற இரு பொருள்களுக்கு மிடையே ஒரு விசை உண்டு ;

(2) இவ்விசை **விலக்கு விசை**[1] யாகவோ, **கவர்ச்சி விசை**[2] யாகவோ இருக்கலாம் ;

(3) மின்னேற்றங்கள், ஒரே வகையின்வாக இருந்தால் விலக்கு விசையும், மாறுபட்ட வகையினவாக இருந்தால் கவர்ச்சி விசையும் செயல்படும்.*

நிலைமின்விசை[3]

மின்னேற்றம் பெற்ற இரு பொருள்கள் நிலையாக முறையே A, B தானங்களில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இவற்றின் மின்னேற்றங்கள் முறையே q_1, q_2 என்று கொள்வோம். Aக்கும், Bக்கும் இடையிலுள்ள தூரம் d ஆக இருக்கட்டும். மின்னேற்றம் காரணமாக இவ்விரு பொருள்களுக்கும் இடையே உள்ள விசையே நிலைமின்விசை எனப்படுகிறது.

நிலைமின்விசையின் அளவைக் கூறுவது **கூலூம் விதி**[4] அது வருமாறு :

$$F = \frac{q_1\, q_2}{d^2}$$

அதாவது,

$$(\text{நிலைமின்விசை}) = \frac{(\text{ஒரு பொருளின் மின்னேற்றம்}) \times (\text{மற்றப் பொருளின் மின்னேற்றம்})}{(\text{இடைத்தூரம்})^2}$$

பொருள்களின் மேலுள்ள மின்னேற்றத்தின் அளவு அதிகரித்தால் இவ்விசையும் அதிகரிக்கும் ; பொருள்களின் இடையிலுள்ள தூரம் அதிகமானல் இவ்விசை குறையும்.

இவ்வாறு, மின்னேற்றத்தின் காரணமாக இப்பொருள்களுக்கிடையே தோன்றும் விசையை **கூலூம் விசை**[5] என்று கூறுவது வழக்கு.

நிலைமின்னலகு[6]

இந்தக் கூலூம் விதியைப் பயன்படுத்தி மின்னேற்றத்துக்கான அலகு ஒன்றை வரையறுத்துள்ளனர். ஒரே அளவுள்ள இரு மின்னேற்றங்கள் ஒன்றுக்கொன்று ஒரு செ.மீ. தூரத்தில் இருப்பதாகக்

---

*இதையே ஆங்கிலத்தில் சுருக்கமாக, 'Like charges repel and unlike charges attract' என்று கூறுவர்.

1. force of repulsion 2. force of attraction 3. electrostatic force 4. Coulomb's law 5. Coulomb force 6. electrostatic unit (of charge)—abbreviated as e. s. u.

கொள்வோம். இப்பொழுது, சமன்பாட்டின்படி இவற்றிற்கிடையே உள்ள விசையானது அவற்றின் மேலுள்ள மின்னேற்றத்தின் அளவைப் பொறுத்து இருக்கும். இந்த விசை ஒரு டைன் ஆக இருந்தால், மின்னேற்றங்கள் ஒவ்வொன்றும் ஒரு நிலைமின்னலகு கொண்டதாகும்.

சம மின்னேற்றத்தைக் கொண்டவையும், 1 செ.மீ. இடைத்தூரம் உள்ளவையுமான இரு பொருள்களுக்கிடையேயுள்ள விசை 1 டைனாக இருக்குமானால், ஒவ்வொரு பொருளின் மேலுள்ள மின்னேற்றமும் 1 நிலைமின்னலகு மின்னேற்றமாகும்.

இது மின்னேற்றத்திற்கான அடிப்படை அலகுகளில் ஒன்றாகும்.

அணு பௌதிகத்தில் மின்னேற்ற அலகு

அணு பௌதிகத்தில் எலக்ட்ரானது மின்னேற்றத்தை[1] அடிப்படை அலகாகக் கொண்டிருக்கிறார்கள். எலக்ட்ரானே மின்னோட்டங்கள் அனைத்துக்கும் அடிப்படையாக அமைவதால், இதன் மின்னேற்றம் ஒரு கீழ்வரம்பாக இருக்கிறது. மற்றும் அயனிகள்[2], அடிப்படைத் துகள்கள் இவற்றின் மின்னேற்றம் எலக்ட்ரான் மின்னேற்ற அளவின் முழு எண் பெருக்கங்களாகவே இருக்கும்.

ஆக, $4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ நி.மி.அ. அளவுள்ள மின்னேற்றத்தை அலகாகக் கொண்டால், எலக்ட்ரான் ஓரலகு எதிர் மின்னேற்றமும், புரோட்டான்[3] ஓரலகு நேர் மின்னேற்றமும் கொண்டவை என்று கூறலாம். இவ்வாறே பல துகள்களின் மின்னேற்றத்தை அட்டவணை 2-4இல் காண்க.

அட்டவணை 2-4

துகள்	மின்னேற்றத்தின்	
	அளவு	வகை
1. எலக்ட்ரான்	ஓரலகு	எதிர் (−)
2. புரோட்டான்	,,	நேர் (+)
3. பாஸிட்ரான்	,,	,,
4. பீட்டாத் துகள்	,,	நேர் (அல்லது) எதிர்
5. டியூடிரான்[4]	,,	நேர்
6. ஆல்ஃபாத் துகள்[5]	ஈரலகு	நேர்
7. அயனி	சாதாரணமாக ஓரலகு	நேர் (அல்லது) எதிர்

*எலக்ட்ரானின் மின்னேற்றத்தை எதிர் என்று சொல்லுவது சம்பிரதாய மாகிவிட்டது ; இதற்கு எதிர்வகையானதை நேர் என்பதும் நிலைத்து விட்டது.

1. electronic charge 2. ions 3. proton 4. deuteron 5. alpha particle..

REFERENCES

1. PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE : "*Physics—A Text Book*"—Indian Edition by National Council of Educational Research and Training, New Delhi.

2. G. GAMOW AND J. CLEVELEND : "*Physics - Foundations and Frontiers*"—Prentice Hall of India Limited, New Delhi.

3. F. W. SEARS AND M. W. ZEMANSKY : "*College Physics*"—Addison Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.

4. A. BEISER : "*Basic Concepts of Physics*"—Addison Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.

3. அணு[1]

[தி. நா. ரங்கராஜன்]

இருபதாம் நூற்றுண்டின் மாபெரும் விஞ்ஞான நிகழ்ச்சி அணு சக்தி[2] வெளிப்பாடு ஆகும். அணுஉலே[3]கள், அணுகுண்டு[4]கள் ஆகியவை சக்தியின் மாபெரும் கருவூலங்களாக உள்ளன. அணுவின் சக்தி எப்படி வெளிப்படுகிறது?

அணுவின் சக்தி வெளிப்பட்டது திடீரென ஏற்பட்ட நிகழ்ச்சியன்று. பல்லாண்டுகளாக, சக்தியை வெளிக்கொணரும் நோக்கத்துடன் திட்ட மிட்டுச் சாதித்ததும் அன்று. இயற்கையின் உண்மைகளேப் புரிந்து கொள்ள, அதன் ரகசியத்தை உணர்ந்தறிய, விஞ்ஞானிகள் பயன் கருதாது மேற்கொண்ட முயற்சிகளின் முடிவே அணுசக்தி வெளிப்பாடு ஆகும். எனவே, இதுபற்றி அறிய நாம் அணுவின் கதையைத் தெரிந்துகொள்ள வேண்டும். இக்கதைக்கு வித்திட்ட விஞ்ஞானி களேயும், அவர்களது சோதனேமுறைகளேயும், சாதனேகளேயும் பற்றி அறிதல் வேண்டும்.

அணுவின் அற்புதக் கதையை அறிய காலத்தில் பின்னேக்கிச் செல்வோம்.

---

1. atom 2. atomic energy 3. (atomic) reactor 4. atom bomb.

ஆதிகாலத்தில் அணு

"பொருள்கள் அணுக்களால் ஆனவை; அணு, பொருளின் மிகச் சிறிய பகுதி," என்பன போன்ற கருத்துக்கள் 2500 ஆண்டு களுக்கும் முன்பாகவே இந்திய, கிரேக்க விஞ்ஞானிகளால் கூறப்பட் டுள்ளன.

இந்தியாவில், வேத காலத்திலிருந்தே அணுக்கொள்கை நிலவி வருகிறது. சாங்கிய சாஸ்திரத்தை எழுதிய கபிலமுனிவர், யோக சாஸ் திரத்தை எழுதிய பதஞ்சலி, வைசேஷிகத்தை இயற்றிய கணுதர், பிற் கால ஜைன முனிவர்கள் ஆகிய பலரும் அணுவைப் பற்றிக் கூறி யுள்ளனர்.

"பொருள்கள் யாவும் அணுக்களால் ஆனவை; சக்தி அழிக்க முடியாதது; ஓர் உருவத்திலிருந்து மற்ருெரு வடிவுக்கு மாற்ற மட்டுமே கூடியது" எனக் கபிலர் கூறினர்.

"பொருள்களுக்கெல்லாம் அடிப்படை 'பூதாதிகள்' எனப்படும் துகள்கள்" என்று பதஞ்சலி கூறினர். இவற்றுடன் சக்தி சேர்வதால் 'தன்மாத்திரைகள்' தோன்றுவதாயும், தன்மாத்திரைகள் அதிர் வதால் ஒளியும் வெப்பமும் தோன்றுவதாயும், தன்மாத்திரைகளின் சேர்க்கையினுல் பரமாணு தோன்றுவதாயும், பல பரமாணுக்கள் சேர்ந்து பொருள் உண்டாவதாயும் அவர் கூறினர். பரமாணுக்களின் சேர்க்கையோ, பிரிவோதான் ரசாயனக் கிரியைகளுக்குக் காரணம் என்றும் அவர் கூறினர்.

அணுக்கொள்கையைப் பற்றி விரிவாகச் சொன்னவர் கணுதர். "பொருள்கள் எல்லாம் வாயுஅணு, நீரணு, மண் அணு, தீ அணு இவற்ருல் ஆனவை. இவ்வணுக்கள் ஆகாயத்தில் அமைந்துள்ளன. தீ அணுவே மற்றவற்றைத் தாக்கி ரசாயனக் கிரியைகளைத் தோற்று விக்கிறது. அணுக்கள் சீராக அமைந்திருந்தால் அப்பொருள் ஒழுங்கான முகங்கொண்ட படிகங்களாக அமையும்" என்று கணுதர் கூறினர்.

"அணுக்களைத் தனித்தனியே பார்க்க முடியாது. ஆனல் அவை ஒன்று சேர்ந்து மரம், மலை, ஏரி எனப் பல பொருள்களாகப் பரிண மிக்கும்பொழுது அவற்றின் திரளைக் காண்கிறோம்," என்று ஜைன முனிவர்கள் விளக்கியுள்ளனர். இக்கருத்து 'மணிமேகலை'யில் பல இடங்களில் விரிவாகக் கூறப்பட்டுள்ளது.

நாகரிகத்திற் சிறந்த பண்டைக் காலக் கிரேக்க அறிஞர் பலரும் அணுவைப் பற்றிக் கூறியுள்ளனர். கி.மு.4ஆம் நூற்றாண்டிலும் அதற்கு முன்பும் உள்ள காலத்தில் வாழ்ந்த தேல்ஸ், அனுக்ஸி மாண்டர், அனுக்ஸிமேனஸ், ஜெனோஃபன், ஹெராக்லிடஸ்,*

---

*Thales, Anaximander, Anaximanes, Xenophon, Heraclitus.

எம்பெடாகல்ஸ், லூஸிஃபஸ், டெமாக்ரிடஸ், அரிஸ்டாட்டில்* போன்ற அறிஞர்கள் அணுவைப்பற்றிக் கூறியுள்ளார்கள்.

அணு, பொருளின் மிகச் சிறிய பகுதி என்று வலியுறுத்தி அதுபற்றி விவரமாகக் கூறியவர் டெமாக்ரிடஸ். அணுக்கள் எப்பொழுதும் இயக்கத்தில் இருக்கும் என்றும், அவை பல விதங்களில் ஒன்றுடன் ஒன்று சேர்கின்றன என்றும், அதனுல். பற்பல அமைப்புகளும் உருவங்களும் தோன்றுகின்றன என்றும் அவர் கூறினுர்.

தொன்மைக் கருத்துக்களின் பொதுமை

இதுவரை கூறப்பட்ட பல வகையான பழங்காலக் கருத்துக்களிலெல்லாம் ஒரு பொதுவான விஞ்ஞான உண்மையைக் காணலாம். அஃதாவது: 'மிகச் சிறிய ஒன்ருன அணுவே அகில உலகப் பொருள்கள் அனைத்திற்கும் அடிப்படை' என்பதாகும்.

பொருள்கள் எல்லாம் திடநிலையிலோ, திரவநிலையிலோ, வாயு நிலையிலோ இருப்பதைப் பழங்கால அறிஞர் கண்டனர். எனவே, சாதாரணமான, எங்கும் காணக்கூடிய திடப்பொருளான மண்ணையும், திரவப்பொருளான நீரையும், வாயுப்பொருளான காற்றையும் பொருள்களுக்கு அடிப்படையாகக் கொண்டனர். இவை இருக்க இடம் தேவைப்படுகிறது அல்லவா? ஆகவே ஆகாயத்தையும் இவற்றுடன் சேர்த்துக் கொண்டனர். பிறகு, சக்திக்கு அடிப்படையாக மிக நன்ருகத் தெரிந்திருந்த 'தீ'யை எடுத்துக் கொண்டனர். எனவே, இந்த ஐந்து வகைப் "பொருள்களின்" அணுக்களைக் கொண்டே பிரபஞ்சத்தை அமைக்க முடியும் என்ற கொள்கை வேருன்றியது. இக்கருத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டே பழங்கால அணுக் கொள்கைகள் எழுந்தன.

மேற்கூறப்பட்ட பழங்காலக் கொள்கைகள் எல்லாம் கருத்தளவாகவே இருந்தன. விஞ்ஞான முறைப்படி, சோதனைகள் மூலமாக ஏதும் ஆராயப்படவில்லை. இப்படியே பல நூற்ருண்டுகள் கழிந்தன.

'ரசவாதி'களின் முயற்சி

கி. பி. பதினுறு, பதினேழாம் நூற்ருண்டுகளில் விஞ்ஞானம் சோதனைச் சாலையை எட்டியிருந்தது. தாமிரம், ஈயம் போன்ற சாதாரண உலோகங்களைத் தங்கமாக்கி விடமுடியும் என்று அக்கால விஞ்ஞானிகள் நம்பினர்; நம்பியது மட்டுமன்றி அதற்கான பற்பல முயற்சிகளிலும் ஈடுபட்டனர். முடிவில் பயனற்றுத் தோல்வியுற்றனர் என்பது இன்று நாமனைவரும் அறிந்ததொன்றேயாகும். என்ருலும், ரசவாதிகள்[1] என்று தற்காலத்தில் குறிப்பிடப்படும் இவர்களின்

---

* Empedocles, Lucifus, Democritus, Aristotle.
1. alchemists

முயற்சிதான், பிற்காலத்தில் ரசாயன அறிவு பெருக வழிவகுத்தது. இவர்களது முயற்சியின் பயனாக விஞ்ஞானிகள் பொருள்களுடைய அமைப்பின் ஓர் அடிப்படை உண்மையை உணரத் தொடங்கினர். அதுவே 'மூலகக் கொள்கை' ஆகும்.

மூலகக் கொள்கை[1]

இக்கொள்கைப்படி, பொருள்கள் யாவும் மூலகங்களால் ஆனவை. மூலகம் என்பது ஓர் அடிப்படைப் பகுதி; அது கலப்பற்றது; பிரிக்கப் படவோ, மற்றொரு மூலகமாக மாற்றப்படவோ முடியாதது; உலகில் காணும் பொருள்கள் யாவும் மூலகங்களாலோ, அவற்றின் சேர்க்கை யாலோ ஆனவையாம்.

இந்த மூலகக் கொள்கை மிகவும் அடிப்படையானது என்றாலும், இது முற்றிலும் சரியானது அன்று என இன்று நாம் அறிவோம். உதாரணமாக, சாதாரண ரசாயனக் கிரியைகள் மூலம் மூலகங்களை மாற்றுதல் இயலாது. ஆனால் ஒரு மூலகத்தை மற்றொரு மூலகமாக மாற்றும் 'நவீன ரசவாதம்'[2] தற்காலத்தில் நடைபெறுகிறது.*

இந்த மூலகங்களைப்பற்றி அறிந்தவற்றுள் மிக முக்கியமானது அவற்றின் எடையாகும். மூலகங்களின் மிகச் சிறிய பகுதிகளான அணுக்களின் எடையை ஒருவாறு கண்டறியும் முறைகளை விஞ்ஞானி கள் அறிந்திருந்தனர்.

அணுத்திணிவு அலகு[3]

அணுக்களின் எடைகள்† மிகமிகக் குறைவு. ஒரு கிராம் திணி வுள்ள ஹைடிரஜன் வாயுவில் சுமார் 6×10^{23} (அதாவது 600 கோடி கோடி கோடி) ஹைடிரஜன் அணுக்கள் இருக்கவேண்டுமெனக் கண்ட னர். அதாவது, ஒரு ஹைடிரஜன் அணுவின் திணிவு சுமார் $1{\cdot}67 \times 10^{-24}$ கிராம்!

இவ்வளவு குறைவான பொருள் திணிவுகளை கிராமில் குறிப்பிடா மல், அணுத்திணிவு அலகு (அ. தி. அ.) என்ற ஒரு புதிய அலகு மூலம் விஞ்ஞானிகள் குறிப்பிடுகிறார்கள். இம்முறையில் ஆக்ஸிஜன் அணு வின் திணிவு 16 எனக் கொண்டு மற்ற அணுக்களின் திணிவு கணிக்கப் படுகிறது.

இந்த அலகின்படி ஒரு ஹைடிரஜன் அணுவின் திணிவு (எடை) 1·008 அ. தி. அ. ஆகும்.

---

* இன்று அறியப்பட்டுள்ள 104 மூலகங்களில் 16 மனிதனால் செயற்கையாகத் தோற்றுவிக்கப்பட்டவையாகும்.

† இங்கு பொருள் திணிவை எடை என்று கூறினோம், வேறுபாடு கருதப்பட வேண்டிய அவசியம் இல்லாததால்.

1. theory of elements 2. modern alchemy 3. atomic mass unit (or a. m. u.).

அணுவின் மின்குணம்

அணு பௌதிகத்தின் ஒரு முக்கிய திருப்பம் பொருள்களின் மின்குணம் பற்றிய கண்டுபிடிப்பாகும். அணுக்களும், மூலக்கூறுகளும் சாதாரணமாக மின்குணத்தைப் புலப்படுத்துவது இல்லை. இவை உண்மையில் மின்னேற்றம் அற்றவைதானு என்பதை ஃபாரடே[1] என்ற ஆங்கில விஞ்ஞானியின் பரிசோதனைகள் விளக்கின.

சில பொருள்கள் நீரிலோ, வேறு திரவங்களிலோ கரைந்திருக்கும் பொழுது முறையே நேர்மின்னேற்றம்[2], எதிர்மின்னேற்றம்[3] கொண்ட நேர்மின் அயனிகளா[4]கவும், எதிர்மின் அயனிகளா[5]கவும்* பிரிகின்றன. கரைசல் வழியே மின்சாரத்தைப் பாய்ச்சினுல், இவ்வயனிகள் எதிரெதிர்த் திசைகளில் நகர்ந்து மின்சார ஓட்டத்திற்குக் காரணமாகின்றன.

மின்சார ஓட்டம், ரசாயனக் கிரியைகளைத் தூண்டி ஒரு கூட்டுப் பொருளை அதன் மூலகங்களாகப் பிரிக்கும் வல்லமை கொண்டது. உதாரணமாக, நீரின்வழியே மின்சாரத்தைப் பாய்ச்சினுல், ஹைடிரஜன் வாயு எதிர்மின்வாயிலும்[6], ஆக்ஸிஜன் வாயு நேர்மின்வாயிலும்[7] வெளிப்படுகின்றன. இந்த முறையே மின்பகுப்பு[8] எனப்படுவதாகும்.

ஃபாரடே, மின்பகுப்பு பற்றி நிகழ்த்திய சோதனைகளிலிருந்து ஒரு முக்கிய உண்மை தெரியவந்தது. அஃதாவது: 'எந்த ஒரு மூலகத்தின் அணுவும் குறிப்பிட்ட ஒரே அளவு நேர்மின்னேற்றத்தைக் கொடுக்கவோ, அதே அளவு எதிர்மின்னேற்றத்தை ஏற்கவோ கூடியதாக இருக்கிறது.'

இந்த அடிப்படை உண்மையைத் தொடர்ந்து, 'மின்குணம் அற்றவையாகக் காணப்படும் அணுக்கள் உண்மையில், சமமான அளவு நேர், எதிர் மின்னேற்றங்களைக் கொண்ட பகுதிகளால் ஆனவையாக இருக்கவேண்டும்' என்ற கொள்கை வேரூன்றலாயிற்று.

எலக்ட்ரான்[9] உதயம்

ஃபாரடே, திரவங்களினூடே மின்சாரத்தைப் பாய்ச்சினுர்; க்ரூக்ஸ்[10] என்ற விஞ்ஞானியோ வாயுக்களில் மின்சாரத்தைச் செலுத்திச்

---

* மின்குணம் இல்லாத அணுக்களோ, மூலக்கூறுகளோ, சில காரணங்களினுல் மின்னேற்றம் பெற்ற பகுதிகளாகப் பிரியக்கூடும். இவ்வாறு பிரியும் ஜோடிகளை அயனியிரட்டைகள் அல்லது அயனிகள் என்று கூறுவதுண்டு. இவை நேர்மின்னயனிகளையும் எதிர்மின்னயனிகளையும் கொண்டவையாயிருக்கும்.

1. Faraday 2. positive charge 3. negative charge 4. positive ion 5. negative ion 6. negative electrode or cathode 7. positive electrode or anode 8. electrolysis 9. electron 10. Crookes.

சோதனை செய்யலானார். ஒரு கண்ணாடிக் குழாயில், வாயுவை அடைத்து, அதன் அழுத்தத்தை மிகக் குறைத்து அதன் வழியே மின்சாரம் பாயுமாறு செய்தார்.

எதிர்மின்வாயிலிருந்து நேர்மின்வாயை நோக்கி மின்சாரம் ஒளி வீச்சுடன் பாய்ந்தது. ஒளிவீச்சுக் கொண்ட இக்கதிர்கள் எக்ஸ் கதிர்களைப் போன்று பொருள்களை ஊடுருவிச் செல்லவில்லை; மேலும் மின்புலங்களாலும், காந்தப் புலங்களாலும் தம் பாதையை விட்டு விலக்கப்பட்டன. எதிர்மின்வாய்க் கதிர்கள்[1] எனப்பட்ட இவை, ஒரு நிலை மின்னலகு எதிர்மின்னேற்றம் கொண்ட துகள்களால் அமைந்தவை என்று பின்னர் அறியப்பட்டது. இத்துகள்தான் எலக்ட்ரான் ஆகும்.

இந்த எலக்ட்ரான்களைப் பற்றியும், அணுவின் அமைப்பைப் பற்றியும் ஜே. ஜே. தாம்ஸன்[2] என்பார் செய்த சோதனைகள் வரலாற்றுப் புகழ் மிக்கவை. இன்றைய அணு பௌதிகத்திற்கு அடிப்படையாக அமைந்த இச்சோதனைகளைப் பற்றிப் பார்ப்போம்.

தாம்ஸனின் சோதனை

மின்னேற்றங் கொண்ட ஒரு துகள் மின்புலம் வழியாகச் செல்லும் போது தன் நேர்கோட்டுப் பாதையிலிருந்து வளைகிறது. இதுபோலவே, காந்தப்புலம் வழியாகச் செல்லும்போதும் ஒரு வளைவுப் பாதையில் செல்கிறது. மேலும், நேர், எதிர் மின்னேற்றங்களைக் கொண்ட துகள்கள் எதிரெதிர்ப் புறங்களில் ஒதுக்கப்படுமாகையால், எதிர்மின்வாய்க் கதிர்கள் ஒதுக்கப்படும் திசையைக் கொண்டு அவற்றின் மின்னேற்றம் நெகட்டிவ்வா அல்லவா என்று அறியலாம். ஆனால் நிகழும் திசைமாற்றத்தின் அளவோ துகளின் மின்னேற்றம், அதன் திணிவு, வேகம் இவற்றின் மதிப்புகளைப் பொறுத்திருக்கும். எனவே எதிர்மின்வாய்த் துகள்களின் மின்னேற்றத்தையும், திணிவையும் தனித்தனியே கண்டறிவது எளிதன்று.

ஆனால், தாம்ஸன் இதற்கு ஒரு வழி கண்டார். எதிர்மின்வாய்க் கதிர்களின் கற்றை[3] ஒன்றை மின்புலம் வழியாகவும், காந்தப்புலம் வழியாகவும் தனித்தனியே செலுத்தி, ஏற்படும் திசை மாற்றங்களை அளந்தார். இருபுலங்களும் சேர்ந்து செயல்படும்போது ஏற்படும் திசை மாற்றத்தையும் அளந்தார். இவற்றினின்று துகளின் மின்னேற்றத்திற்கும், அதன் பொருள் திணிவிற்கும் உள்ள விகிதத்தை நிர்ணயிக்க முடிந்தது. இதனை மின்னேற்றத் திணிவு விகிதம்*[4] என்போம்.

$$\text{* மின்னேற்றத் திணிவு விகிதம்} = \frac{\text{துகளின் மின்னேற்றத்தின் மதிப்பு}}{\text{துகளின் பொருள் திணிவு}}$$

1. cathode rays 2. J. J. Thomson 3. beam 4. $\frac{e}{m}$ ratio

மில்லிக்கனின் சோதனை

எலக்ட்ரானின் மின்னேற்றத்தை மட்டும் தனியாகத் துல்லியமாகச் சோதனைகள் மூலம் அளந்தவர் மில்லிக்கன்[1] என்ற அமெரிக்க விஞ்ஞானி ஆவர். இவர் மிக நுண்ணிய எண்ணெய்த் துளிகளை[2] உண்டாக்கி, அவற்றை மின்னேற்றம் உடையவையாகச் செய்தார். இவற்றை மின்புலத்தின் உதவி கொண்டு, புவி ஈர்ப்பு விசைக்கு எதிராக மேலே செல்லச் செய்து அவற்றின் வேகத்தை அளந்தார். இதன் மூலம் துளிகளின் மேலுள்ள மின்னேற்றத்தை அளப்பது சாத்தியமாயிற்று.

இம்மின்னேற்றம் எப்பொழுதும் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவின் முழு மடங்குகளாக[3] அமைந்தது. இக்குறிப்பிட்ட அளவே எலக்ட்ரானின் மின்னேற்றமாக இருக்கவேண்டும் என மில்லிக்கன் கூறினர்.*

மில்லிக்கனின் சோதனையிலிருந்து எலக்ட்ரானின் மின்னேற்றம் சுமார் $4{\cdot}8\times10^{-10}$ நி. மி. அ† என்று தெரிய வந்தது. தாம்ஸனின் சோதனை முடிவுகளை இதனேடு சேர்த்துக் கருதினல், எலக்ட்ரானின் திணிவை நிர்ணயிக்கலாம். இது $9{\cdot}1\times10^{-28}$ கிராம் ‡ஆகும்.

எலக்ட்ரானின் வியாபகம்

தாம்ஸன் வெவ்வேறு வாயுக்களைப் பயன்படுத்தி, தம் சோதனையைச் செய்து பார்த்தார். இப் பல்வகை வாயுக்களிலிருந்து வெளிப்படும் எதிர்மின்வாய்க் கதிர்கள் எல்லாம் ஒரே தன்மையனவாக இருக்கக் கண்டார். அதாவது அவற்றின் மின்னேற்றத் திணிவு விகிதம் மாருமல் ஒரே மதிப்புடையதாக இருந்தது. இதிலிருந்து தெரிய வந்ததாவது: எலக்ட்ரான்கள் எல்லா மூலகங்களிலும் வியாபித்துள்ளன; எல்லா அணுக்களின் அமைப்பிலும் பங்கு பெற்றுள்ளன.

---

* இதன் மதிப்பு $4{\cdot}774\times10^{-10}$ நிலைமின்னலகு (நி. மி. அ.) ஆகும். இந்த அளவை எலக்ட்ரானின் மின்னேற்றம் என்றே, ஓரலகு மின்னேற்றத்தின் மதிப்பு என்றே கூறுவது வழக்கம். இதுவே அணு பௌதிகத்தில், மின்னேற்றத்துக்கான அடிப்படை அலகாகக் கொள்ளப்பட்டுள்ளது. பிற துகள்களின் மின்னேற்றத்தை, மின்சாரவியலின் நிலை மின்னலகுகளில் குறிக்காமல், மேற்கூறிய அலகுகளில் தெரிவிப்பது எளிமையானதாகவும், தெளிவானதாகவும் இருப்பதால் இதுவே பெரும்பான்மை வழக்கமாக இருந்து வருகிறது.

† நி. மி. அ. = e.s.u. = நிலைமின் அலகு.

‡ அதாவது, 10^{28} (அல்லது கோடி கோடி கோடி கோடி) எலக்ட்ரான்கள் சேர்ந்து சுமார் பத்து கிராம் திணிவுடையவையாகும்.

1. Millikan 2. oil-drops 3. integral multiples.

பாஸிட்டிவ் கதிர்களும், புரோட்டான் உதயமும்

தாம்ஸன் செய்த சோதனைகளில், நேர்மின்வாயிலிருந்து எதிர்மின் வாயை நோக்கி மற்றொரு வகைக் கதிர் செல்வதும் அறியப்பட்டது. எதிர்மின்வாய்த் தகட்டில் துளைகளை அமைத்தபோது, அவற்றின் வழியே இவ்வகைக் கதிர்கள் வெளிப்பட்டன. இவை நேர் மின்னேற்றம் உடையனவாயிருந்தன. இவையே பாஸிட்டிவ் கதிர்கள்[1] எனப் பட்டன.

ஹைடிரஜன் கொண்டு இச்சோதனையைச் செய்தபோது வெளிப் பட்ட இக் கதிர்கள் ஓரலகு நேர் மின்னேற்றத்தைக் கொண்ட துகள் களாலானவையாக இருந்தன. ஆனால், இத்துகள்களின் பொருள் திணிவு எலக்ட்ரானைப்போல் 1836 மடங்காக இருந்தது. இவையே **புரோட்டான்கள்**[2] எனப்படும் அடிப்படைத் துகள்களாகும். மற்ற வாயுக்களிலிருந்து வெளிப்பட்ட பாஸிட்டிவ் கதிர்கள் புரோட்டான்களை விட அதிக எடை கொண்டிருந்தன.

அணுவின் அமைப்பு

அணுவில் எலக்ட்ரான்கள்

முழுமையாகக் கருதும்போது அணு, மின்குணம் அற்றது என்றாலும், அது, நேர், எதிர் மின்னேற்றங்களைக்கொண்ட இரு பகுதி களைக் கொண்டதா யிருக்கவேண்டும் என்று தாம்ஸன் சோதனைகளி லிருந்து தெரியவருகிறது. தாம்ஸன், க்ரூக்ஸ் முதலியோரின் சோதனை கள் அணுக்களிலெல்லாம் எலக்ட்ரான்கள் வியாபித்துள்ளன என்று காட்டின. ஆகவே, அணுவானது எலக்ட்ரான்களாலும், மற்றும் நேர் மின்னேற்றம் உடைய ஒரு பகுதியாலும் ஆக்கப்பட்டிருக்க வேண்டு மென்பது தெளிவு, இந்த நேர்மின்னேற்றப் பகுதி எப்படிப் பரந்துள் ளது என்றறிந்தால் அணுவின் அமைப்பு தெளிவாகும்.

அணுவில் உள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையை அறிவது எப்படி? இதற்குத் தாம்ஸன் ஒரு வழி கண்டார். எக்ஸ்-கதிர்கள் பொருள்களின் ஊடே செல்லும்போது அவை ஊடக அணுக்களால் சிதறியடிக்கப்படுகின்றன.[3] ஒருவகைச் சிதறலில்*, எக்ஸ்-கதிர்களின் சிதறும் அளவு, அவைகளைச் சிதறச் செய்யும் அணுவில் உள்ள எலக்ட் ரான்களின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்து இருக்கும். ஆகவே இவ் வகைச் சோதனைகள் மூலம் பலவேறு மூலக அணுக்களில் உள்ள எலக்ட் ரான்களின் எண்ணிக்கையை நிர்ணயிக்கலாம்.

---

* இவ்வகை எக்ஸ்-கதிர்ச் சிதறலை, தாம்ஸன் சிதறல் அல்லது ஒழுங்குச் சிதறல்[4] என்பர்.

1. positive rays 2. protons 3. scattered 4. Thomson scattering or coherent scattering.

தாம்ஸனின் அணு மாடல்[1]

மேற்கூறிய செய்திகளை ஆதாரமாகக் கொண்டு தாம்ஸன், அணுவின் அமைப்பு பற்றி ஒரு மாடலைப் பிரேரேபித்தார். "அணு ஒரு கோளமாக இருக்கிறது; இக்கோளம் நேர்மின்னேற்றம் கொண்டதாயும், அணுவின் பரிமாணத்திற்கேற்ற விட்டத்தை உடையதாயும் இருக்கிறது; இக்கோளத்தினுள் பழத்திற்குள் விதைகளைப்போல் எலக்ட்ரான்கள் புதைந்துள்ளன," என்று தாம்ஸன் கருதினர். அணு, முழுமையாகக் கருதப்படும்போது, மின்குணம் இன்றி இருப்பதால், எலக்ட்ரான்களால் ஏற்படும் மின்புலமும், கோளத்தால் உண்டாகும் மின்புலமும் ஒன்றையொன்று ஈடுசெய்யும் வகையில் அமைய வேண்டும். இதற்கான அமைப்பைப் பல அணுக்களுக்கு, தாம்ஸன் கணித்துக் கூறினர்.

ஆனால் இந்த மாடல், சிலநாளிலேயே தகர்த்தெறியப்படும்படியான முடிவுகளை அளித்தது ஒரு சோதனை. வரலாற்றுச் சிறப்பு மிக்க அச் சோதனை யாது?

ருதர்ஃபோர்டின் ஆல்ஃபாச் சிதறல் சோதனை

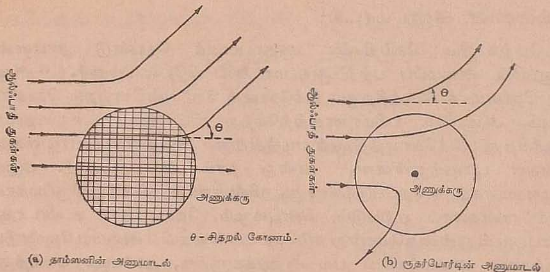
இயற்கையில் கிடைக்கும் மூலகங்களில் சில தாமாகவே சிதைவுற்று ஆல்ஃபாத் துகள்களை[2] உமிழ்கின்றன. இவை பொருள்களை ஊடுருவிச் செல்லும்போது எலக்ட்ரான்களால் அதிகம் பாதிக்கப்படுவதில்லை. ஆனல் அணுவின் நேர்மின்னேற்றம் கொண்ட பகுதியால் விலக்கப்படுகின்றன. இவ்விதம் சிதறியடிக்கப்படும் ஆல்ஃபாத் துகள்களின் சிதறல் கோணத்தை ருதர்ஃபோர்டு[3] அளந்தார். பெரும்பாலும், துகள்கள் சிறிதளவே திசை மாறின. ஆயினும் சராசரியாகச் சுமார் 8000இல் ஒரு முறை, பெருந் திசைமாற்றம் அடைந்து வந்த பக்கமே திருப்பி அனுப்பப்பட்டன.

தாம்ஸனின் மாடலின்படி இவ்வகை மடக்குச் சிதறல்[4] நடைபெறுவது சாத்தியமில்லை. (படம் 3-1ஐப் பார்க்க.) படத்திலிருந்து, ஆல்ஃபாத் துகள் தாம்ஸனது அணுக்கோளத்தின் மேற்பரப்பைத் தொட்டாற்போற் செல்லும்போது, அதன் சிதறல் கோணம் அதிகபட்சமாக இருக்கும் என்று தெரிகிறது. ஆனல் ஆல்ஃபாத் துகள் அணுவை ஊடுருவி அதன் மையத்தை நெருங்க நெருங்க, துகளின் பாதைக்கு வெளிப்புறத்திலுள்ள மின்னேற்றம் துகளைப் பாதிக்காது. எனவே சிதறல் கோணம் குறைய ஆரம்பிக்கிறது. இம்முறைப்படி

---

* இவை எலக்ட்ரான்களற்ற ஹீலியம்[5] அணுக்களேயாம். இவை ஈரலகு மின்னேற்றம் கொண்டவை; ஹைடிரஜனைப்போல் 4 மடங்கு எடையுள்ளவை.

1. Thomson's atom model 2. alpha particles 3. Rutherford 4. backscattering 5. helium.



படம் 3-1. ஆல்ஃபாச் சிதறல்

கணித்ததில் துகள் 30° கோணத்திற்கு மேலாக திசைமாற்றம் பெறுவது மிக அரிதே என்பது தெரியலாயிற்று. ஆனால் சோதனைகளிலோ 90°க்கும் மேலான சிதறல் கோணங்கள் காணப்பட்டன. ஆகவே தாம்ஸனின் மாடல்படி, ஆல்ஃபாச் சிதறல் சோதனைகளின் முடிவுகளை விளக்குவது இயலாததாயிற்று.

ருதர்ஃபோர்டின் அணு மாடல்

நேர் மின்னேற்றம், தாம்ஸன் கூறியதுபோல் அணு முழுவதும் பரந்திராமல் அதன் மையத்தில் சிறு பகுதியாக உருண்டு, திரண்டு, அடர்ந்து இருத்தல் வேண்டும் என்று அனுமானித்தார் ருதர்ஃபோர்டு.

இப்பொழுது படம் 3-1bஇல் காட்டியுள்ளது போல, ஆல்ஃபாத் துகள் மையத்தை நெருங்க, நெருங்க அணுவின் முழு நேர்மின்னேற்றமும் குறைந்த தூரத்திலிருந்து செயல்படுவதால், விலக்கு விசை அதிகரிக்கிறது; எனவே சிதறல் கோணமும் அதிகரிக்கிறது. இவ்வாறே, குறிப்பிட்ட சக்தி கொண்ட ஆல்ஃபாத் துகள் அணு மையத்தைக் குறிப்பிட்ட தூரம் வரைதான் நெருங்க முடியும். இதைவிட அருகில் நெருங்குமேயானல், படத்தில் காட்டியுள்ளது போல மடக்குச் சிதறலுக்கு உள்ளாகும். ருதர்ஃபோர்டு, இப்புதிய மாடலின்படி ஆல்ஃபாத் துகள்களின் சிதறல் கோண விகிதாசாரத்தைக்[1] கணக்கிட்டார். அது சோதனை முடிவுகளோடு ஒத்திருந்தது.

அணுவும், அணுக்கருவும்

ருதர்ஃபோர்டின் மாடல்படி, அணுவின் திணிவில் மிகப்பெரும் பகுதியும், அணுவின் நேர்மின்னேற்றம் முழுவதும், அணுவின்

---

1. distribution.

மையத்தில் ஒரு சிறு கோளப் பகுதியில் அமைந்திருக்கின்றன. எதிர் மின்னேற்றத்திற்குக் காரணமான எலக்ட்ரான்கள் இக்கோளத்தைச் சுற்றி அமைந்துள்ளன. மையத்துக் கோளமே அணுக்கரு[1] அல்லது கரு[2] எனப்படும்.

ருதர்ஃபோர்டின் மாடலை, சூரிய மண்டலத்திற்கு ஒப்பாகச் சொல்லலாம். சூரியனை கிரகங்கள் சுற்றி வருவதுபோல, அணுக் கருவைச் சூழ்ந்துள்ள வெளியில் எலக்ட்ரான்கள் சுற்றி வருகின்றன. எதிர் மின்னேற்றம் கொண்ட எலக்ட்ரான்களுக்கும், நேர் மின்னேற்றம் உடைய அணுக்கருவுக்கும் இடையே உள்ள கவர்ச்சி விசைக்கு எதிராக எலக்ட்ரான்களின் சுழல் விலகு விசை[3] செயல்பட்டு எலக்ட்ரான்களை அவற்றின் பாதைகளிலேயே இயங்கிக் கொண்டிருக்கும்படி செய்கிறது.

ருதர்ஃபோர்டின் இந்த அணு அமைப்பு மாடலே தற்கால அணு மாடல்களின் அடிப்படையாகும். எலக்ட்ரான்கள் வட்டப் பாதைகளில் அல்லாமல் நீள் வட்டப் பாதைகளில் இயங்குகின்றன என்பதும், அவற்றின் பாதைகளும், தன்மைகளும் நவீன குவாண்ட்டம் விதி களால்[4] நிர்ணயிக்கப்படுகின்றன என்பதும் போன்ற பல முன்னேற் றங்கள் நிகழ்ந்துள்ளபோதிலும், அணுக்கருவைச் சுற்றி எலக்ட்ரான்கள் உள்ளன என்ற அடிப்படைக் கொள்கை இன்றளவும் மாறுதிருக்கிறது.

அணுஎண்ணும், அணுவின் திணிவெண்ணும்

உலகத்தில் பலவகை மூலகங்கள் உள என்றும், ஒவ்வொன்றும் தனக்குரிய அணுக்களால் ஆனது என்றும் கண்டோம். எக்ஸ்-கதிர்களின் ஒழுங்குச் சிதறல் சோதனைகளின் மூலம் அணுக்களிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை அணுவுக்கு அணு (மூலகத்துக்கு மூலகம்) வேறுபடுவதையும், பாஸிட்டிவ் கதிர்களைப்பற்றிய ஆராய்ச்சி யின் மூலமாக அணுக்களின் எடை மூலகத்துக்கு மூலகம் வித்தியாசமாக இருப்பதையும், விஞ்ஞானிகள் கண்டறிந்த விஷயத்தைக் கூறினேம். ஓர் அணுவை எடுத்துக் கொண்டால் மேலே கூறிய இரு முக்கிய குணங்களும், முறையே, அணுஎண்ணும், அணுவின் திணிவெண் ணும் குறிக்கப்படும்.

பொதுவாக, ஓர் அணுவில் உள்ள மொத்த எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையை அணுஎண்*[5] என்று கூறலாம்.

ரசாயனக் கிரியைகளினுல் ஒரு கூட்டுப் பொருள் உண்டாகும்போது மூலகங்களின் அணுக்கள் ஒன்று சேர்ந்து கூட்டுப் பொருளின் மூலக் கூறுகள்[6] உண்டாகின்றன. இவ்வாறு மூலக்கூறு உண்டாவதற்கு

---

* அணுஎண்ணின் சரியான விளக்கம் இவ்வாறு இல்லாமல் அணுக்கருவின் அமைப்பை அடிப்படையாகக் கொண்டிருக்கவேண்டும். இதனைப் பின்னர்க் காண்க.

1. atomic nucleus 2. nucleus 3. centrifugal force 4. quantum rules 5. atomic number 6. molecules.

மூலக அணுக்களிலுள்ள எலக்ட்ரான்களுக்கிடையில் ஏற்படும் பரிவர்த்தனேயே காரணமாகிறது. எனவே ஒரு மூலகத்தின் ரசாயன குணங்கள், அதன் அணுவில் உள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்து—அதாவது அணு எண்ணைப் பொறுத்து—அமையும். மேலும், மூலக அட்டவணை*யில்[1] மூலகத்தின் இடத்தை நிர்ணயிப்பது இந்த அணுஎண்தான்.

அணுஎண் மாறுபட்டால் மூலகமும் வேருகின்றது. உதாரணமாக, ஹைடிரஜனின் அணுஎண் 1; ஹீலியத்தின் அணுஎண் 2; யுரேனியத்தின் அணுஎண்ணே 92.

நன்கறியப்பட்ட மற்றொரு செய்தி, அணுஎண் அதிகரிக்க அதிகரிக்க அணுவின் எடையும் அதிகரிக்கிறது என்பதாகும். ஆக அணுவின் அமைப்பு, அணுக்கருவின் அமைப்பு ஆகிய இவை அணுவின் எண்ணையும், எடையையும் ஆதாரமாகக் கொண்டவையாக இருக்க வேண்டும் என்பது தெளிவு.

அணுக்கருவின் அமைப்பு

அணுவில் எலக்ட்ரான்கள் பல இருப்பினும், அவை மிகமிக லேசானவை ஆதலால், அணுவின் எடை அணுக்கருவிலேயே பெரும்பான்மையாக அமைந்திருத்தல் வேண்டும். மேலும் முழுமையாகக் கருதும்போது அணு மின்குணம் அற்றதாகையால், அதிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமான அளவு மின்னேற்றம் அணுக்கருவில் அமைந்திருக்க வேண்டும். எலக்ட்ரானைவிட அதிக எடை கொண்டதும் ஆனல் அதனளவே மின்னேற்றம் கொண்டதுமான அடிப்படைத் துகளான புரோட்டானுல் மேற்கூறிய இரு நிபந்தனைகளையும் பூர்த்தி செய்ய முடியும். ஆகவே அணுக்கருவில் புரோட்டான்கள் உள்ளன என அனுமானிக்கலாம்.

இந்த புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கை அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமாக இருக்கும். அணுக்கருவிலுள்ள புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையே 'அணுஎண்' ஆகும்.

ஹைடிரஜன் அணுவின் எடை, புரோட்டான் எடைக்கு ஏறக்குறையச் சமமாகும். ஆனல் வேறு எந்த அணுக்கருவும் தன்னில் உள்ள புரோட்டான்களின் மொத்த எடையைவிட அதிக எடை கொண்டதாக இருக்கின்றது. உதாரணமாக ஹீலியத்தின் அணு எண் 2;

---

* மூலக அட்டவணை என்பது, மூலகங்கள் அவற்றின் பௌதிக, ரசாயன குணங்களுக்குத் தக, வரிசைப்படுத்தப்பட்ட ஓர் அட்டவணையாகும். இதில் ஒவ்வொரு மூலகத்திற்கும் ஒரு குறிப்பிட்ட கட்டம் ஒதுக்கப்பட்டுள்ளது. (இதை '**மூலக ஆவர்த்த அட்டவணை**' என்றும் கூறுவதுண்டு).

1. periodic table of the elements.

ஆனால் அதன் அணு எடையோ 4. இந்த அதிக எடையை இட்டு நிரப்பும் துகளே நியூட்ரான்[1] ஆகும்.*

எனவே, அணுக்கரு புரோட்டான்களையும், நியூட்ரான்களையும் கொண்டது. இவ்விருவகைத் துகள்களும் நெருக்கமாக இருந்து அணு மையத்திலுள்ள கோளமாக அமைகின்றன. இக்கோளமாகிய அணுக் கருவைச் சுற்றி எலக்ட்ரான்கள் தம் பாதையில் வலம் வருகின்றன. இதுவே அணுவின் அமைப்பு ஆகும்.

அணுவின் அமைப்பு

படம் 3-2 இல் ஒரு சில அணுக்களின் அமைப்பைக் காணலாம்.

ஒவ்வோர் அணுவின் மையத்தில் அணுக்கருவும் சுற்றுப்பாதை களில் எலக்ட்ரான்களும் இருப்பதைக் காண்க. மையத்திலுள்ள அணுக்கருவில் கறுப்பு வட்டங்கள் புரோட்டான்களையும், வெள்ளை வட்டங்கள் நியூட்ரான்களையும் குறிக்கின்றன. ஹைடிரஜன் அணுக்கரு ஒரு புரோட்டானைக் கொண்டுள்ளது. ஹீலிய அணுவின் கருவில் இரு புரோட்டான்களும், இரு நியூட்ரான்களும் உள்ளன. இவ்வாறே ஆக்ஸிஜன் அணுவில், 8 புரோட்டான்களையும், 8 நியூட்ரான்களையும் கொண்ட அணுக்கருவும், இதனைச் சுற்றி 8 எலக்ட்ரான்களும் இருக்கும். இவ்வாறே எல்லா மூலக அணுக்களின் அமைப்பையும் கொடுக்க முடிகின்றது. இவற்றிலெல்லாம் அணுக்கருவிலுள்ள புரோட்டான் களின் எண்ணிக்கை, சுற்றியுள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமாக இருக்கும்.

அணுத்திணிவு எண்[2]

அணுக்கருவில் உள்ள புரோட்டான்கள், நியூட்ரான்கள் இவற்றின் மொத்த எண்ணிக்கை திணிவெண் எனப்படும்.†

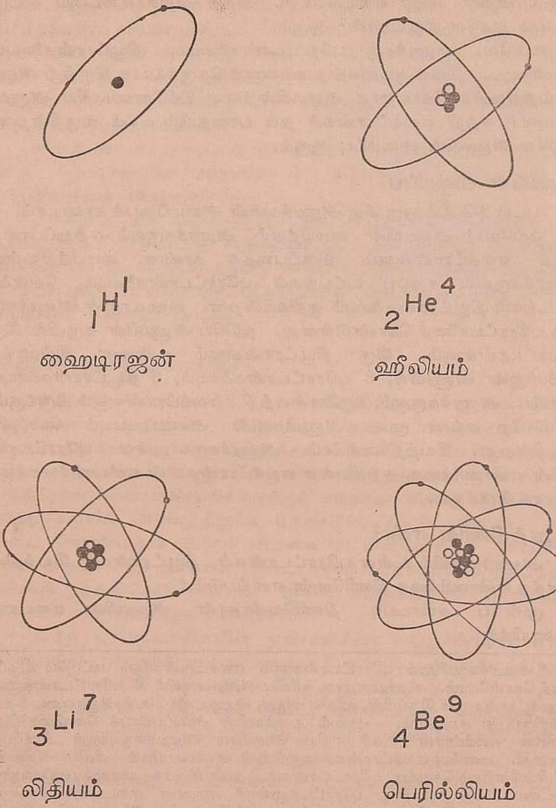
முன்பே கண்டபடி திணிவெண்தான் அணுவின் எடையை நிர்ணயிக்கிறது.

---

* அணுக்கருவினுள் புரோட்டான்களும் எலக்ட்ரான்களும் மட்டுமே இருப்ப தாகக் கொள்வோம். உதாரணமாக, ஹீலிய அணுக்கருவில் 4 புரோட்டான்களும், 2 எலக்ட்ரான்களும் இருப்பின், ஹீலிய அணு, அணு எண் 2-உம் அணு எடை 4-உம் பெற்றிருப்பது சாத்தியம். ஆனால் துகள்களின் அலைப்பண்புக் கொள்கை[3]ப்படி லேசான எலக்ட்ரான் மிகச் சிறிய அளவுள்ள அணுக்கருவுக்குள் இருப்பது இயலாது. எனவே, எலக்ட்ரான்கள் கருவினுள் அமையாவிடில் ஹீலிய அணுவில் நேர்மின்னேற்றம் கொண்ட புரோட்டான்கள் 2 தான் இருக்க முடியும். எஞ்சியுள்ள எடையை இட்டு நிரப்புவது புரோட்டானுக்குச் சமமான எடையுள்ள வேறொரு துகளாகத்தான் இருக்க முடியும். அது மின்னேற்றம் அற்றதாகவும் இருக்க வேண்டும்.

† புரோட்டான்களையும், நியூட்ரான்களையும் சேர்த்துப் பொதுவாக 'நியூக்ளி யான்'[4] என்று கூறுவது உண்டு. ஆக அணுவிலுள்ள நியூக்ளியான்களின் எண்ணிக்கையே அணுத்திணிவெண் எனலாம்.

1. neutron 2. atomic mass number (or) mass number 3. wave theory of particles 4. nucleon.



படம் 3-2. சில அணுக்களின் அமைப்புகள்

ஐஸோடோப்புகளைப் பற்றிய அனுமானம்

முன்பு கூறப்பட்ட பாஸிட்டிவ் கதிர்ச் சோதனைகளில் ஒரு புதுமை யான முடிவு வெளியாயிற்று. நியான்[1] வாயுவிலிருந்து வெளிப்படும் பாஸிட்டிவ் கதிர்களைக் கொண்டு சோதனை செய்தபோது, அவை இரண்டுவகை நியான் அணுக்களைக் கொண்டனவாக இருந்தன என்பது காணப்பட்டது. ஒன்றின் எடை 20 அணுத்திணிவு அலகுகளாகவும் மற்றதன் எடை 22 அணுத்திணிவு அலகுகளாகவும் இருந்தன. இவை 9 : 1 என்ற விகிதத்தில் இருப்பதும் அறியப்பட்டது.

ஆனால் முன்பே அறியப்பட்ட செய்தி, நியான் அணுவின் எடை 20·2 என்பதாகும். இப்பொழுதோ முழு எண்களான எடைகளை உடைய இரு நியான் அணுக்கள் காணப்பட்டன. ஆனால், இவற்றின் விகிதத்தைக் கொண்டு அணு எடையைக் கணக்கிட்டால் அது சரியாக 20·2 ஆகிறது. எனவே பெறப்பட்ட முடிவு, நியான் அணு இருவகைப் பட்டதாக இருக்கிறது என்பதே. இதுதான் ஐஸோடோப்புகளைப் பற்றிய முதல் அனுமானம்.

ஐஸோடோப்புகள்[2]

அணுஎண், ஒரு மூலகத்திற்குரிய பிரத்தியேகப் பண்பாகும். அணுஎண் சமமாக இருக்கும் பொருள்கள் ஒரே மூலகத்தைச் சார்ந்தவையாகும்.

ஆனால், அணுஎண் சமமாகவும், அணுத்திணிவெண் வெவ் வேறாகவும் இருப்பது சாத்தியம். இவ்வாறிருக்கும் அணுக்களையே ஐஸோடோப்புகள் என்பர். இவ்வாறுள்ள ஒவ்வோர் அணுவும் அந்த மூலகத்தைச் சார்ந்த ஐஸோடோப்பு * ஆகும்.

மேற்கூறிய உதாரணத்தில் நியான்வாயு, முறையே அணுத்திணி வெண்கள் 20, 22 உடைய இரு ஐஸோடோப்புகளைக் கொண்டதாக இருக்கிறது. இவ்விரு வகையின் கலவையே சாதாரணமாகக் காணப் படும் நியான் வாயுவாகும். இவ்வாறே, பெரும்பாலான மூலகங்கள் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட ஐஸோடோப்புகளின் கலவையாகவே இயற்கை யில் காணப்படுகின்றன.

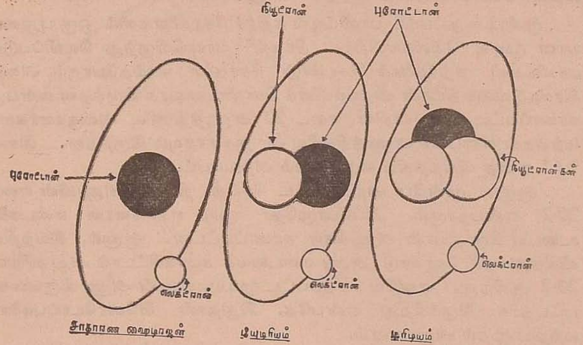
ஒரே மூலகத்தைச் சேர்ந்த ஐஸோடோப்புகளில் புரோட்டான் களின் எண்ணிக்கை சமமாகவும், நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை மட்டும் வேறுபட்டும் இருக்கும்.

ஹைடிரஜன் மூலகத்தின் ஐஸோடோப்புகளை படம் 3-3 காட்டு கிறது. இவற்றில் எல்லாம் அணுக்கருவில் ஒரு புரோட்டானும், சுற்றி

---

* கிரேக்க மொழியில் 'ஐஸோடோப்பு' என்ற தொடருக்கு 'ஒரிடத்தைச் சேர்ந்தவை' என்று பொருள். அதாவது, மூலக அட்டவணையில் ஒரே கட்டத்தைக் கொண்டவை.

1. neon 2. isotopes.



படம் 3-3. ஹைடிரஜனின் ஐஸோடோப்புகள்

ஒரு எலக்ட்ரானுமே உள்ளன. ஆனால் அணுக்கருவில் உள்ள நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை பூஜ்யமானால் சாதாரண ஹைடிரஜனும், ஒன்றானால் டியூடிரியமும்[1], இரண்டானால் டிரிடியமும்[2] ஆகின்றன. ஒரு மூலகத்தின் ஐஸோடோப்புகளை ரசாயனப்பகுப்புகள் மூலமோ, அவற்றின் ரசாயன குணங்களைக் கொண்டோ வேறுபடுத்திக் காண முடியாது.* ஆனால், அவை அணுக்கருவின் அமைப்பில் மாறுபட்டவை. எனவே, அவை புரியும் அணுக்கருக் கிரியைகளில் அவற்றிற்குள்ள வேறுபாட்டைக் காணமுடியும்.

அணுவின் சின்னம்

ஒவ்வோர் அணுவுக்கும் அடையாளமிட்டுக் குறிப்பிடும் முறை அணுபௌதிகத்தில் முக்கியமானதாகும். இக்குறியீட்டு முறையில் அணு எம்மூலகத்தைச் சார்ந்தது என்பதும், அதன் அணுஎண்ணும், அணுத்திணிவெண்ணும் விளக்கமாகக் குறிக்கப்படும். பொதுவாக $_{Z}X^{A}$ என்று குறிப்பிட்டால், X என்பது மூலகத்துக்குள்ள குறியையும், Z என்பது அதன் அணு எண்ணையும், ^{A} என்பது இங்கு குறிக்கப்படும் ஐஸோடோப்பின் திணிவெண்ணையும் குறிக்கின்றன.

---

* ஆனால், சில பௌதிகப் பகுப்பு முறைகளின்படி (physical separation processes) ஐஸோடோப்புகளைப் பிரிப்பதும், அடர்விப்பதும் இயலும். உதாரணமாக, இயற்கை யுரேனியத்தில் $^{1}/_{140}$ மடங்கு உள்ள யுரேனியம்–235ஐ வாயு பரவுதல் (gaseous diffusion) என்னும் முறையில் அடர்விக்கிறார்கள்.

1. deuterium 2. tritium.

சில உதாரணங்கள்

சாதாரண ஹைடிரஜன் : $_1H^1$

டியூடிரியம் : $_1H^2$

டிரிடியம் : $_1H^3$

ஹீலியம் : $_2He^4$

ஆக்ஸிஜன் : $_8O^{16}$

நியான்–20 : $_{10}Ne^{20}$

நியான்–22 : $_{10}Ne^{22}$

கதிரியக்கம்

கண்டுபிடிப்பு

தாம்ஸன், ருதர்ஃபோர்டு போன்ற விஞ்ஞானிகளின் முயற்சியால் அணுவின் அமைப்பைப்பற்றிய அறிவு பெருகி வந்து அதே காலத்தில், மற்ருெரு புரட்சிகரமான கண்டுபிடிப்பு நிகழ்ந்து விஞ்ஞான உலகில் ஒரு பரபரப்பான சூழ்நிலை ஏற்பட்டது. இக்கண்டுபிடிப்பே கதிரியக்கம்[1] ஆகும்.

எக்ஸ்-கதிர்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட 1895ஆம் ஆண்டிற்கு அடுத்த ஆண்டிலேயே கதிரியக்கத்தைக் கண்டுபிடித்தார் பெக்கரல்[2]. யுரேனியத்திலிருந்து வெளிப்படும் ஒருவகைக் கதிர்கள் கருநிறக் காகிதங்களையும் ஊடுருவி எக்ஸ்-கதிர்களைப் போன்றே போட்டோ ஃபிலிம்களைப் பாதிப்பதைக் கண்டார். இக்கதிர்களின் தீவிரம் யுரேனியத்தின் எடையைப் பொறுத்து இருந்ததே தவிர, அதன் பௌதிக, ரசாயன நிலைகளைப் பொறுத்து மாறவில்லை. இந்த மர்மமான கதிர்கள் அணுவிலிருந்து வரும் தூதுவர்களாகக் கருதப்பட்டன.

பெக்கரலின் கண்டுபிடிப்பைத் தொடர்ந்து பியரி க்யூரி[3], மேரி க்யூரி[4] என்ற தம்பதியரின் அயராத ஆராய்ச்சிகளின் பயனாக பிட்ச் ப்ளெண்டு[5] என்ற தாதுவிலிருந்து இரண்டு மூலகங்கள் பிரித்தெடுக்கப்பட்டன. கதிரியக்கம் வாய்ந்த அவை பொலோனியம்[6] ரேடியம்[7] எனப் பெயரிடப்பட்டன. இவை யுரேனியத்தைவிடப் பன்மடங்கு தீவிரமாகக் கதிர்களை வெளியிடுவனவாயிருந்தன.

இதைத் தொடர்ந்து தோரியம்[8], ஆக்டினியம்[9] போன்ற கதிரியக்க மூலகங்களும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன.

மூவகைக் கதிர்கள்

விரைவிலேயே, இக்கதிரியக்கப் பொருள்களிலிருந்து வெளியாகும் கதிர்கள் தன்மையில் ஒன்றுக்கொன்று மாறுபட்டவையாக இருப்பது

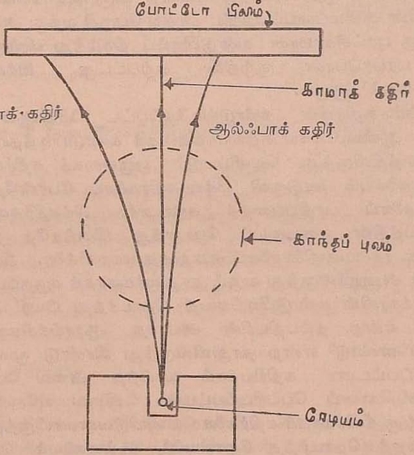
---

1. radioactivity 2. Becquerel 3. Pierre Curie 4. Marie Curie 5. pitch blende 6. polonium 7. radium 8. thorium 9. actinium.

அறியப்பட்டது. இக்கதிர்களின் வகைகளைக் கீழே கூறப்படும் சோதனை மூலம் கண்டறிந்தனர்.

படம் 3-4இல் கண்டதுபோல, ரேடியம் போன்ற கதிரியக்கப் பொருளிலிருந்து வெளிவரும் கதிர் ஒரு கற்றையாக வெளிவருகிறது.

இக் கதிர்வீச்சை[1] ஒரு போட்டோ பிலிமின் மீது விழுமாறு செய்தால், பிலிமில் கருமை உண்டாகும். படத்திற் காட்டியுள்ளபடி இக்கதிர்வீச்சை ஒரு காந்தப்புலம்[2] வழியே செல்லுமாறு செய்ததில், கதிர்கள் மூன்று பிரிவுகளாகப் பிரிந்து போட்டோ பிலிமின் மூன்று தனித்தனி இடங்களில் கருமை உண்டாக்கின. இவற்றுள் ஒருவகைக் கதிர் காந்தப் புலத்தால் பாதிக்கப்படாமல் இருந்தது. மற்ற இருவகைகளும் எதிரெதிர்ப் புறங்களில் வளைந்தன.



படம் 3-4. மூவகைக் கதிர்கள்

படத்தில் வலப்பக்கம் வளைபவை **ஆல்ஃபாக் கதிர்கள்[3]** ஆகும். இடப்புறம் வளைபவை **பீட்டாக் கதிர்கள்[4]** எனப்படும் எலக்ட்ரான்களாகும். காந்தப் புலத்தால் பாதிக்கப்படாமல் நேர்கோட்டில் செல்பவை **காமாக் கதிர்கள்[5]** என்னும் சக்திவடிவ இம்மிகளா[6]கும்.

---

1. radiation 2. magnetic field 3. alpha rays or α rays 4. beta rays or β rays 5. gamma rays or γ rays 6. quanta.

இவற்றுள், ஆல்ஃபாக் கதிர்கள் ஈரலகு நேர்மின்னேற்றமும் பீட்டாக் கதிர்கள் (பொதுவாக) ஓரலகு எதிர்மின்னேற்றமும்* கொண்டவை ; காமாக் கதிர்கள் மின்னேற்றம் அற்றவை.†

கதிரியக்கம் என்பது யாது ?

முன்னே கூறப்பட்ட முக்கியத்துவம் வாய்ந்த கண்டுபிடிப்புகளைத் தொடர்ந்து பலவேறு மூலகங்கள் கதிரியக்கம் கொண்டவையாயிருப்பது அறியப்பட்டது. (பின்னர், செயற்கையாகவும் இக்கதிரியக்கம் பல மூலகங்களில் தூண்டப்பட முடியுமென்று காணப்பட்டது). இவற்றை ஆராய்ந்ததில், கதிரியக்கங்கொண்ட மூலகங்கள் கதிர்களை வெளியிட்ட பின்னர் பொதுவாக முன்னிருந்த மூலகமாக இருப்பதில்லை என்பது தெரியவந்தது. அவை வேறு மூலகங்களாக மாறிவிடுகின்றன. உதாரணமாக ரேடியம் வெவ்வேறு மூலகங்களாகிக் கடைசியில் காரீய மாகி[1]விடுகிறது. இவ்வாறு ஒரு மூலகம் (அல்லது ஐஸோடோப்பு) வேருெரு மூலகமாக (அல்லது ஐஸோடோப்பாக) மாறுவதையே கதிரியக்கச் சிதைவு[2] என்கிருர்கள். இவ்வாறு மாறும் (பொருளே) ஐஸோடோப்பே கதிரியக்க ஐஸோடோப்பு[3] ஆகும்.

கதிரியக்கம் காரணமாக அணுக்கருவில் ஏற்படும் மாறுதல் ஒரு மூலகம், வேருெரு மூலகமாக மாறுவதற்குக் காரணமாகிறது. கதிரியக்கம் ஏன் நிகழவேண்டும் என்பதற்கு விடையாக, பல சிக்கலான கோட்பாடுகளைக்கொண்ட கொள்கைகள் அணுபௌதிகத் துறையில் உள்ளன எனினும், கீழ்க்காணுமாறு ஒருவாறு எளிமையாக விளக்கலாம்.

சாதாரணமாகக் காணப்படும் மூலகங்களின் அணுக்களுக்கெல்லாம் அவ்வவற்றிற்குரிய ஒரு குறிப்பிட்ட அமைப்பு உண்டு. அவற்றின் கருக்களும் உரிய எண்ணிக்கையுள்ள நியூட்ரான்களையும், புரோட்டான்களையும்கொண்டு அமைந்திருக்கும். இவை நிலையான ஐஸோடோப்புகள்[4] அல்லது நிலையான மூலகங்கள்[5] எனப்படுகின்றன.

ஒரு மூலகத்தைச் சார்ந்த சில ஐஸோடோப்புகள் தம் அணுக்கரு அமைப்பில், அதே மூலகத்தின் நிலையான ஐஸோடோப்பின் அணுக்கரு அமைப்பிலிருந்து பெரிதும் வேறுபட்டிருக்கலாம். அப்பொழுது அந்த ஐஸோடோப்பு நிலையான ஐஸோடோப்பின் அணுக்கரு அமைப்பைப் பெற முயலும். இதற்கான வழி பீட்டா, ஆல்ஃபா

---

*கதிரியக்கத்தால் வெளியாகும் எலக்ட்ரானை β^- என்றும், பாஸிட்ரானை β^+ என்றும், இவ்விருவகைத் துகள்களையும் பொதுவாக β கதிர்கள் என்றும் கூறுவது அணுபௌதிக வழக்கு.

†இவை மின்காந்தக் கதிர்கள்[6] வகையைச் சேர்ந்தவை.

1. lead 2. radioactive disintegration 3. radioactive isotope 4. stable isotopes 5. stable elements 6. electro-magnetic rays.

போன்ற துகள்களை அணுக்கருவினின்று வெளியேற்றுவதாகும். இப்படி நிகழ்வதே கதிரியக்கச் சிதைவு; அதன் விளைவே வெளிப்படும் கதிர்களாகும். உதாரணமாக, படம் 3-3 இல் காட்டப்பட்டுள்ள டிரிடியம் எனப்படும் ஹைடிரஜனின் ஐஸோடோப்பு, நிலையான ஹைடிரஜனின் அமைப்பிலிருந்து பெரிதும் வேறுபட்டிருக்கிறது. அதன் அணுக்கரு ஸ்திரமற்ற நிலை[1]யில் இருப்பதாகக் கூறப்படுகிறது. இக்கரு ஸ்திர நிலை[2]யை அடைய முயல்கிறது. ஸ்திரநிலையை அடைந்தபின் தோன்றும் ஐஸோடோப்பு, டிரிடியத்தைவிட அணுஎண் 1 அதிகமான ஹீலியத்தின் ஐஸோடோப்பாகும். எனவே, டிரிடியம், ஹீலியமாக மாறிவிடுகிறது. அதாவது, $_1H^3$ சிதைந்து $_2He^3$ஆக மாறிவிடுகிறது. இது நிகழ்வது, டிரிடியம் தனது அணுஎண் 1 அதிகரிக்க வகை செய்தாலன்றி இயலாது. ஆகவே, டிரிடியம் ஒரு பீட்டாத்துகளை (அதாவது அணுக்கருவிலிருந்து ஒரு அலகு எதிர்மின்னேற்றத்தை) வெளியேற்றுகிறது.*

இவ்வாறு, ஸ்திரமற்ற நிலையிலுள்ள அணுக்கரு அமைப்பைக் கொண்ட ஐஸோடோப்புகள், ஸ்திரநிலையை அடையும் பொருட்டு அவற்றின் அணு அமைப்பில் நிகழும் மாறுதலே கதிரியக்கச் சிதைவு ஆகும். கதிரியக்கச் சிதைவுக்கு உள்ளாகும் பொருள்கள் கதிரியக்கப் பொருள்கள் எனப்படும்.

அரை ஆயுட்காலம்[3]

கதிரியக்கத்தின் ஒரு தனிப்பண்பு, கதிரியக்கச் சிதைவு ஒரே சமயம் மொத்தமாக நிகழ்ந்து எல்லாக் கதிரியக்க அணுக்களும் சிதைந்துவிடாமல், சிறிது சிறிதாக நிகழ்வது ஆகும்.

ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் சிதைவுறும் அணுக்களின் எண்ணிக்கை, அவ்வமயம் இருக்கும் கதிரியக்க அணுக்களின் மொத்த எண்ணிக்கைக்கு நேர்விகிதப் பொருத்தத்தில் இருக்கிறது.

உதாரணமாக, லக்ஷம் கதிரியக்க அணுக்களை எடுத்துக் கொள்வோம். இவை மணிக்கு நூறு அணுக்கள் வீதம் சிதைவதாக இருக்கட்டும். அணுக்கள் சிதைந்து, சிதைந்து எஞ்சிய கதிரியக்க அணுக்களின் எண்ணிக்கை 10,000 ஆக இருக்கும்போது, முன்னைப்

---

*சிலபோது, கதிரியக்க ஐஸோடோப்பு ஸ்திரநிலை பெறுவதற்கு அணு எண் 1 குறையவேண்டியிருக்கும். ஒரு பாஸிட்ரானை (அதாவது β^+ துகளை) அணுக் கருவிலிருந்து வெளியேற்றினுல் இது சாத்தியமாகும். இதுவும் பீட்டாச் சிதைவின் ஒரு வகையே ஆகும். அணுஎண் 1 குறைவாக ஆவதற்கு வேறொரு வழியும் உண்டு. அது, கருவைச் சூழ்ந்துள்ள எலக்ட்ரான்களில் ஒன்றை கரு கவர்ந்து விடுவதுதான். இதை 'எலக்ட்ரான் உட்கவர்தல்' (electron capture) என்பர். இது சிறுபான்மை நிகழ்ச்சியேயாகும்.

1. unstable state 2. stable state 3. half-life.

போல் மணிக்கு நூறு அணுக்கள் வீதம் சிதைய மாட்டா; பதிலாக, மணிக்குப் பத்து அணுக்களே சிதைவுறும். ஆயிரம் அணுக்களே எஞ்சியிருக்கும்பொழுது, மணிக்கு 1 அணு வீதமே சிதைவு நிகழும்.

ஒரு கதிரியக்கப்பொருளிலுள்ள கதிரியக்க அணுக்களின் மொத்த எண்ணிக்கை, கதிரியக்கச் சிதைவினுல் பாதியாகக் குறைவதற்கு ஆகும் காலம், அப்பொருளின் **அரை ஆயுட்காலம்** எனப்படும்.

இந்த அரை ஆயுட்காலத்தின் மதிப்பு ஐஸோடோப்புக்கு ஐஸோடோப்பு பெரிதும் மாறுபடுகிறது. இன்றறியப்பட்டுள்ள பல்வேறு கதிரியக்க ஐஸோடோப்புகளின் அரை ஆயுட்காலங்கள் ஒரு செகண்டில் 1000இல் ஒரு பங்கு முதல் பல்லாயிரக்கணக்கான ஆண்டுகள் வரை வேறுபட்டுள்ளன.

கதிரியக்கச் சிதைவின் வகைகள்

பொதுவாக ஒரு கதிரியக்கப் பொருள் இருவகைகளில் சிதைவுறலாம். அவையாவன: (1) ஆல்ஃபாத்துகளே வெளியிடும் சிதைவு; (2) பீட்டாக் கதிர்களே வெளியிடும் சிதைவு.

முதல்வகை அல்லது ஆல்ஃபாச் சிதைவில் கதிரியக்க ஐஸோடோப்பு, அணுத்திணிவெண் 4 குறைவானதும், அணுஎண் 2 குறைவானதும் ஆகிய ஒரு (புதிய) ஐஸோடோப்பாக மாறுகிறது. இவ்வகைச் சிதைவு பெரும்பாலும் அணுத்திணிவெண் அதிகமாக உள்ள மூலகங்களிலேயே (கன மூலகங்கள்[1]) நிகழ்கின்றது.

இரண்டாவது வகையான பீட்டாச்சிதைவில் அணுத்திணிவெண் மாறுவதில்லே; ஆனுல் புதியதாகப் பிறக்கும் மூலகத்தின் அணுஎண் ஒன்று அதிகமாக இருக்கிறது. இவ்வகைச் சிதைவே பெரும்பாலும் நடைபெறுகிறது*.

இவ்விருவகைச் சிதைவிலும், சிதைவுக்குப் பிறகு தோன்றும் புதிய ஐஸோடோப்பு தனது ஸ்திரநிலேக்குத் தேவையான அளவுக்கு மேலான சக்தி பெற்றிருக்கலாம். அப்பொழுது அது தனது ஸ்திரநிலேயிலிருந்து உயர்ந்த சக்திமட்டத்[2] திலிருப்பதாகக் கூறப்படும்.

இந்த உயர் சக்தி மட்டத்திலிருந்து ஸ்திரநிலேயை அடையும்போது இந்த அதிக சக்தி மின்காந்தக் கதிர் வடிவில் வெளிப்படுகிறது. இதுவே காமாக்கதிர் எனப்படுவது.

பொதுவாக, கதிரியக்கச் சிதைவினுல் பெறும் புதிய மூலகத்தை சிதைவின் வகையால் அறியலாம். $_zX^A$ என்ற ஐஸோடோப்பு சிதைவுறுவதாகக் கருதுவோம்.

---

* β^+ எனப்படும் பாஸிட்ரான் வெளியீடும் சிலபோது நிகழ்கிறது. அதுவும் பீட்டாச் சிதைவின் வகையைச் சார்ந்ததே. ஆனுல் அதில் அணுஎண் ஒன்று குறைவுபடும்.

1. heavy elements 2. energy level.

ஆல்ஃபாச் சிதைவு :

$$_{Z}X^{A} \longrightarrow {}_{(Z-2)}Y^{(A-4)} + \alpha$$

பீட்டாச் சிதைவு :

$$_{Z}X^{A} \longrightarrow {}_{(Z+1)}P^{A} + e^{-}$$

(இங்கு, α–ஆல்ஃபாத் துகளேயும், e^{-}–எலக்ட்ராளேயும் குறிக்கின்றன. Y, P என்பன உரிய மூலகங்களின் குறிகள்).

கதிரியக்கக் குடும்பங்கள்[1]

கதிரியக்கம் காரணமாகப் புதிதாகத் தோன்றும் மூலகம் சேய் மூலகம்[2] எனப்படும். இந்த மூலகமும் நிலேயற்றதாக இருக்குமானுல் அதுவும் கதிரியக்கச் சிதைவுக்கு உள்ளாகும். இவ்வாறே நிலேயான மூலகம் பிறப்பிக்கப்படும் வரை கதிரியக்கம் தொடரும். இந்நிகழ்ச்சியில் தோன்றும் ஐஸோடோப்புகள் அனைத்தும் ஒரு கதிரியக்கக் குடும்பம் எனப்படும்.

தோரியக் குடும்பம்[3] படம் 3-5இல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இது $_{90}Th^{232}$ இல் தொடங்கி, காரீய ஐஸோடோப்பான காரீயம் 208 உடன் முடிவடைகிறது.

இதைப்போலவே யுரேனியக் குடும்பம்[4] ஆக்டினியக் குடும்பம்[5] என்பவையும் உண்டு. இவை முறையே U^{238}லும், U^{235}லும் தொடங்குகின்றன.

[இவை தவிர மிக அரிதாகக் காணப்படும் ஐஸோடோப்புகளேக் கொண்ட நெப்டுனியக்குடும்பமும்[6] உண்டு.]

கதிரியக்கத்தினின்று வெளிப்படும் சக்தி

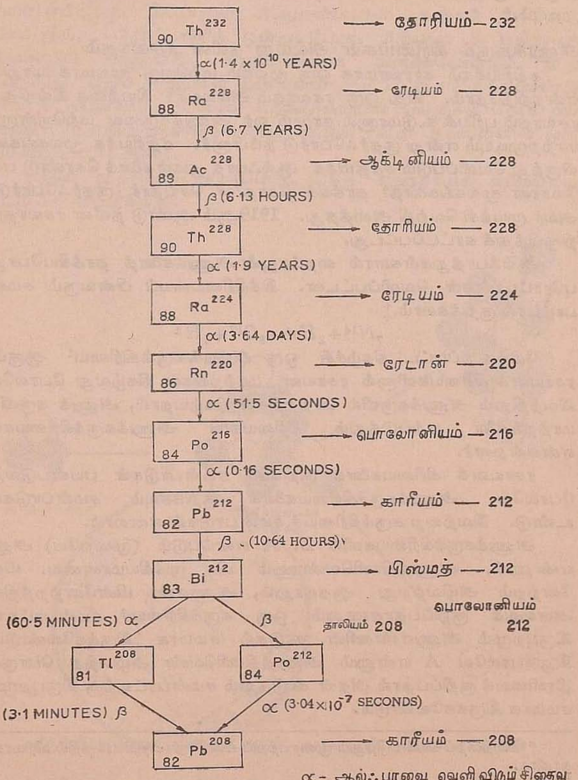
கதிரியக்கச் சிதைவில் வெளிப்படும் கதிர்கள் பல மில்லியன் எலக்ட்ரான் வோல்ட் சக்தி உடையவை.

ஒருகிராம் ரேடியம் ஒரு நாளில் தாளுகவே வெளியிடும் சக்தியைக் கொண்டு சுமார் 50 கிராம் தண்ணீரைக் கொதிக்கச் செய்து விடலாம். இச்சக்தி, 1 கிராம் ரேடியத்தில் உள்ள அணுக்களில் 6 லக்ஷத்தில் ஒரு பங்கு சிதைவதால் மட்டுமே பெறப்படுவதாகும். 1 கிராம் ரேடியம் முழுவதும் சிதைவதால் வெளிபடும் சக்தி 100 கிலோகிராம் (அல்லது லக்ஷம் கிராம்) பெட்ரோலே எரித்துப் பெறும் சக்திக்குச் சமமாகும்.

ஆனுல் இந்த இயற்கையான சக்தி வெளிப்பாட்டை நம்மால் கட்டுப்படுத்த முடியாது ; சக்தி வெளிப்படும் வீதத்தையும் மாற்ற முடி

---

1. radioactive series 2. daughter element 3. thorium series 4. uranium series 5. actinium series 6. neptunium series.



படம். 3.5. தோரியக்குடும்பம்

யாது. ஆனல், அவற்றை இயன்ற அளவு பயன்படுத்திக்கொள்ள முடியும்.*

அணுக்கருக் கிரியைகள் அல்லது நவீன ரசவாதம்

கதிரியக்கம் காரணமாக ஒரு மூலகம் மற்ருெரு மூலமாக மாறும் என்றறிந்தோம். இது ஒரு ரசவாதம் அல்லவா? இயற்கை இவ்விதம் ரசவாதம் புரியக் கூடுமானல் தாமும் ஓர் அணுக்கருவை மற்ருென்ருக மாற்றமுடியும் என்று ருதர்ஃபோர்டு நம்பினர். கதிரியக்க மூலகங்களிலிருந்து வெளிப்படும் சக்திமிக்க ஆல்ஃபாத் துகள்களைக் கொண்டு பல லேசான மூலகங்களைத்† தாக்கிச் சோதனை செய்தார் ருதர்ஃபோர்டு. அவர் முயற்சி வெற்றி அளித்தது. 1919ஆம் ஆண்டு நவீன ரசவாதம் நிரூபித்துக் காட்டப்பட்டது.

ஆல்ஃபாத்துகள்களால் நைட்ரஜன் அணுக்களைத் தாக்கியபோது புரோட்டான்கள் வெளிப்பட்டன. இக்கிரியையைப் பின்வரும் சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம்.‡

$${}_{7}N^{14} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{8}O^{17} + {}_{1}H^{1}$$

மேற்கூறப்பட்ட நிகழ்ச்சி ஒரு அணுக்கருக்கிரியை[1] ஆகும். ரசாயனக் கிரியைகளினல் ரசாயன மாற்றங்கள் நிகழ்வது போலவே இவற்றிலும் அணுக்கருவில் மாற்றங்கள் நிகழ்வதால், அணுக் கருவில் மாற்றங்களை ஏற்படுத்தும் கிரியைகளை அணுக்கருக்கிரியைகள் என்கின்றனர்.

ரசாயனக் கிரியைகளைக் குறிக்கச் சமன்பாடுகள் பயன்படுவது போலவே, அணுக்கருக்கிரியைகளைக் குறிக்கவும் சமன்பாடுகள் உண்டு. இவற்றை கருக்கிரியைச் சமன்பாடுகள் எனலாம்.

அணுக்கருக்கிரியைகளில் Z, A எனப்படும் (முறையே) அணு எண்ணும், அணுத்திணிவெண்ணும் மிக முக்கியமானவை. மின்னேற்றம் அழிவற்றது ஆதலாலும், அணுஎண் மின்னேற்றத்தின் அளவைக் குறிப்பதாதலாலும் ஒரு கருக்கிரியைச் சமன்பாட்டின் இருபுறமும் அணுஎண்ணின் கூடுதல் சமமாக இருக்கவேண்டும். இதுபோலவே A என்னும் அணுத்திணிவெண் அழிவற்ற பொருள் திணிவைக் குறிப்பதால் அதன் கூடுதலும் சமன்பாட்டிற்கு இருபுறமும் சமமாக இருக்கவேண்டும்.

---

* இவற்றைப் பயன்படுத்தும் முறைபற்றிப் பின்னேர் அத்தியாயத்தில் விரிவாகக் காண்க.

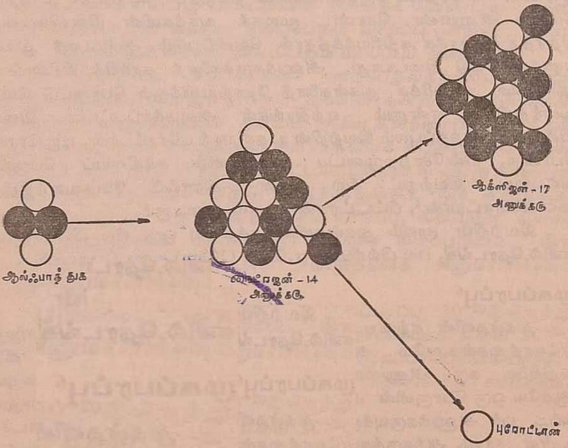
† அணுத்திணிவெண் (A) குறைவான மூலகங்களை லேசான மூலகங்கள் (light elements) என்றும், Aயின் மதிப்பு அதிகமாக உள்ளவற்றை கன மூலகங்கள் (heavy elements) என்றும் குறிப்பிடுவது வழக்கம்.

‡ ஆல்ஃபாத்துகள் ஹீலியத்தின் கருவேயாதலாலும், அதுபோலவே புரோட்டான் ஹைடிரஜனின் உட்கருவாதலாலும் அவை சமன்பாட்டில் மேலே குறித்தவாறு காட்டப்பட்டுள்ளன.

1. nuclear reaction.

எனவே மேற்கூறப்பட்ட நைட்ரஜன், ஆல்ஃபா கருக்கிரியையில், சமன்பாட்டிற்கு இடப்புறம் அணுஎண்களின் கூடுதல் 7+2=9. வலப்புறம், புரோட்டானில் ஒன்று போக, மீதியான 8, புதிதாகத் தோன்றிய அணுவின் அணுஎண்ணாக இருக்கவேண்டும். இது போலவே, புதிய அணுவின் திணிவெண்ணும் 17 ஆக இருக்கவேண்டு மென்று காணலாம். எனவே கருக்கிரியையின் பயனாகத் தோன்றிய அணு $_8O^{17}$ என்ற ஆக்ஸிஜன் அணுவாகும். இது ஆக்ஸிஜனின் ஒரு ஐஸோடோப்பு ஆகும்.

முதன் முதலாகக் காணப்பட்ட இந்த அணுக்கருக் கிரியையை படம் 3-6 காட்டுகிறது.



படம் 3-6.
ஆல்ஃபாத்துகள் நைட்ரஜன் கருவுடன் கிரியை புரிதல்

கருக்கிரியை வகைகள்

மேற்கண்ட கருக்கிரியையில் ஆல்ஃபாத்துகள் கிரியையை விளை வித்தது ; விளைவாக புரோட்டான் வெளிப்பட்டது. இதனை ஒரு (α, p) கருக்கிரியை என்பர். இதுபோலவே தாக்கும் துகள், வெளிப்படும் துகள் இவ்விரண்டையும் குறிப்பிட்டுக் கருக்கிரியை வகைகளைக் கூறுவது ஒரு வழக்கு.

புரோட்டான் (p), டியூடிரான் (d), நியூட்ரான் (n), ஆல்ஃபா (α), காமா (γ) போன்ற பலவும் கருக்கிரியைகளைத் தோற்றுவிக்கவல்லவை. இதுபோலவே கிரியையிலிருந்து பற்பல துகள்களும் வெளிப்படலாம்.

ஆக, (α, n), (p, α), (p, d), (p, n), (p, γ), (d, α), (d, p), (d, n), (n, α), (n, p), (n, γ), $(n, 2n)$, (γ, n) எனப் பலவகைப்பட்ட கிரியைகள் நிகழலாம்.

வேகவளர்த்திகள்[1]

ருதர்ஃபோர்டு செய்ததுபோல கதிரியக்கப் பொருளிலிருந்து வெளிப்படும் ஆல்ஃபாத் துகளைக் கொண்டு அணுஎண் 20ஐக் கொண்ட ஆர்கான்[2] வரைதான் கருக்கிரியைகளை நிகழ்த்த முடிந்தது. அதற்கு மேலும் அணுஎண் கொண்ட மூலகக் கருக்களின் மின்விசையை எதிர்த்துத் தாக்க கதிரியக்கத்தால் வெளிப்படும் ஆல்ஃபாத் துகள் களுக்கு சக்தி கிடையாது. அணுக்கருக்களைத் தாக்கிக் கிரியைகள் புரியவல்ல சக்திமிக்க துகள்களைத் தோற்றுவிக்கும் பொருட்டு வேக வளர்த்திகள் என்னும் எந்திரங்கள் அமைக்கப்பட்டன. இவை மின்புலம், காந்தப்புலம் இவற்றின் உதவியால் புரோட்டான், டியூடிரான் போன்ற மின்னேற்றமுடைய துகள்களின் சக்தியைப் பெருக்க வல்லவை. இவற்றுட் சில வான்–டி–கிராஃப் வேகவளர்த்தி[3], ஸைக்ளோட்ரான்[4], பீட்டட்ரான்[5] முதலியனவாகும்.

இவற்றின் மூலம் துகள்களின் சக்தியை ஒரு சில மி.எ.வோ.க் களில் தொடங்கி, பல பில்லியன் எ.வோ. ($10^9 ev$) வரை பெறலாம்.

முகப்பரப்பு[6]

துகள்களின் கற்றை ஒன்று ஒரு பொருளைத் தாக்கும்பொழுது எல்லாத்துகள்களுமே அணுக்கருக்களுடன் கிரியை புரிந்து விடு வதில்லை. கரு, அணுவைவிடச் சுமார் லக்ஷம் மடங்கு சிறியது.* ஆகவே ஒரு பொருளின் அணுக்கள் நெருக்கமாக அமைந்திருந்தாலுங் கூட, ஓர் அணுக்கருவுக்கும் மற்றோர் அணுக் கருவுக்கும் இடையே உள்ள தூரம் அக்கருக்களின் அளவைப்போல் பல லக்ஷம் மடங்கு ஆகும். இவ்வாறமைந்துள்ள கருக்களை, அவற்றைப் போலவே மிகச் சிறிய அளவுடைய துகள்களால் தாக்குவது, வைக்கோற்போரில் மறைந்துள்ள சிறுகல்லை, துப்பாக்கிக் குண்டால் சுட முயல்வதற்கு ஒப்பாகும். பலகோடி கணத்துகள்களில் ஒன்றே கருவைத் தாக்கு கிறது.

---

* அணுவின் அளவு சுமார் 10^{-8} செ.மீ. ஆகும். அணுக்கருவின் அளவோ சுமார் 10^{-13} செ.மீ. ஆகும்.

1. accelerators 2. argon 3. Van-de-Graaff accelerator 4. cyclotron 5. betatron 6. cross section.

ஒரு துகள் ஓர் அணுக்கருவைத்தாக்கி, கிரியை நிகழ்த்தும் வாய்ப்பு*[1], முகப்பரப்பு என்ற அளவையால் குறிக்கப்படுகிறது.

ஒரு மெல்லிய தகட்டில் ஒரு ச.செ.மீ. பரப்பளவுக்கு N கருக்கள் வீதம் அமைந்திருப்பதாகக் கொள்வோம். இப்பரப்பின் மேல் I துகள் கள் படிவதால், மொத்தம் A கிரியைகள் நிகழட்டும்.

$$\text{முகப்பரப்பு} = \frac{A}{I \times N}$$

$$= \frac{\text{நிகழும் கிரியைகள்}}{(\text{ஒரு ச.செ.மீ. இல் படியும் கணத் துகள்களின் எண்ணிக்கை}) \times (\text{உள்ள கருக்கள்})}$$

முகப்பரப்பு என்பது பரப்பளவின் அலகைக் கொண்டது. முகப் பரப்பு அதிகமானால் கிரியை நடைபெறும் வாய்ப்பு அதிகம். முகப் பரப்பு குறைவானால் கிரியை நடைபெறும் வாய்ப்பும் குறைவு.

ஒரு குறிப்பிட்ட கருக்கிரியை நடைபெறுவதற்குரிய வாய்ப்பு அல்லது முகப்பரப்பானது, தாக்கும் துகளின் தன்மை, அதன் சக்தி, தாக்கப்படும் அணுக்கருவின் தன்மை ஆகிய இவற்றைப் பொறுத்துள் ளது. இவைபற்றிப் பொதுவாகச் சில விதிகளைக் கூறலாம் என்றாலும், முகப்பரப்பு மாறுபடும் விதத்தைத் திட்டவட்டமாகக் கூறுவது இயலாது. இங்கு கூறிய மூன்றும் மாறாது இருந்தாலும்கூட ஒரு குறிப்பிட்ட வகையைச் சார்ந்த கருக்கிரியைக்குள்ள வாய்ப்பு, இன்னொரு வகைக் கிரியை நிகழ்தற்குரிய வாய்ப்புக்குச் சமமாக இருப்பதில்லை. இரு வாய்ப்புகளுக்கு இடையே உள்ள சம்பந்தத்தை அனுமானிக்கவும் இயல்வதில்லை.

சாதாரணமாக கருக்கிரியைகளின் முகப்பரப்பு 10^{-20}இலிருந்து 10^{-30} ச.செ.மீ. வரை மாறுபடுகிறது. சாதாரணமாக இவை 10^{-24}, 10^{-25} ச.செ.மீ. அளவில் இருக்கும். எனவே முகப்பரப்புக்காக பார்ன்[2] என்ற அலகு கையாளப்படுகிறது. இது 10^{-24} ச.செ.மீக்குச் சமமாகும்.

நியூட்ரான்

மின்னேற்றம் அற்றதும், அணுக்கருவின் அமைப்பில் முக்கிய பங்கு கொண்டதும் ஆன நியூட்ரான் என்னும் துகளை சோதனைகளில் முதலில் கண்டவர்கள் போத்தே[3], பெக்கர்[4] என்ற ஜெர்மானிய விஞ்ஞானிகளும், ஜோலியோ[5], ஐரீன்க்யூரி[6] முதலிய பிரெஞ்சு விஞ்ஞானிகளும் ஆவர். ஆனால் அவர்கள் இதனை ஊடுருவும் சக்தி

---

* கிரியையை நிகழ்த்தும் வாய்ப்பு என்பது, கருக்கிரியை நிகழ்த்திய கணத்து கள்களின் எண்ணிக்கைக்கும் மொத்தம் ஏவப்பட்ட கணத்துகள்களின் எண்ணிக் கைக்கும் உள்ள விகிதம் ஆகும்.

1. probability 2. barn 3. Bothe 4. Becker 5. Joliot 6. Irene Curie.

மிகுந்த கதிர்கள் என்று கருதினர்களேயன்றி ஒரு துகளாக இருக்க முடியுமென்று எண்ணவில்லை.

ருதர்ஃபோர்டின் அணு அமைப்பில் பங்குகொண்டுள்ள துகள் மேற்கண்ட சோதனைகளிலிருந்து வெளிப்படும் துகளேதான் என நிரூபித்த பெருமை சாட்விக்[1] என்பாரைச் சாரும்.

ஆல்ஃபாத் துகள்களால் பெரில்லியத்தின் அணுக்களைத் தாக்கும் போது நியூட்ரான் வெளிப்படுகிறது என்று அவர் கூறினர் :

$${}_4Be^9 + {}_2He^4 \rightarrow {}_6C^{12} + {}_0n^1$$

மின்னேற்றம் அற்ற நியூட்ரான் மிக்க ஊடுருவும் திறனும்[2], ஹைடிரஜன் கொண்ட பொருள்களிலிருந்து புரோட்டானைக் கிளப்பும் வல்லமையும் கொண்டிருந்தது. இப்படிக் கிளப்பப்பட்ட புரோட்டான்களின் சக்தியை அளப்பதன் மூலம் நியூட்ரானின் திணிவு கணிக்கப்பட்டது. அது புரோட்டானின் திணிவை விடச் சற்றே கூடுதலாக இருந்தது.

நியூட்ரான் உற்பத்தி

பொலோனியம், ரேடியம் போன்ற கதிரியக்கப் பொருள்கள் வெளியிடும் ஆல்ஃபாத்துகள் பெரில்லியம்[3], போரான்[4] போன்ற மூலக அணுக்களைத் தாக்க வகைசெய்தால், நியூட்ரான்கள் கிடைக்கப் பெறலாம்.

ஆல்ஃபாத்துகளுக்குப் பதிலாக வேகவளர்த்தி எந்திரங்களிலிருந்து கிடைக்கும் புரோட்டான், டியூடிரான்களைப் பயன்படுத்தியும் நியூட்ரான்களைப் பெறலாம்.

நியூட்ரானின் வகைகள்

நியூட்ரான்களை அவற்றின் வேகத்தை (அதாவது, சக்தியைப்) பொறுத்துப் பலவகைகளாப் பிரிக்கலாம்.*

பலநூறு கிலோ எலக்ட்ரான் வோல்ட்டுகளும்[5], அதற்கு மேலும் சக்தி உடைய நியூட்ரான்கள் வேக நியூட்ரான்கள்[6] எனப்படும்.

100 கி. எ. வோ. க்குக் குறைவான, ஆனல் 1 எ. வோ. க்கு மேற்பட்ட சக்தி உடைய நியூட்ரான்களையெல்லாம் இடைவேக நியூட்ரான்கள்[7] என்பர்.

வேகம் மிகக் குறைந்து, சுற்றுப்புறத்திலுள்ள (அறை) உஷ்ண நிலையில் உள்ள மூலக்கூறுகளின் தாறுமாறான வேகத்திற்குச்[8] சம

---

* இங்கு கொடுக்கப்பட்டுள்ள பாகுபாடு, S. Glasstone, "Principles of Nuclear Reactor Engineering" நூலில் உள்ளபடியாகும்.

1. Chadwick 2. penetrating power 3. beryllium 4. boron 5. kilo electron volt = 1000 ev. 6. fast neutrons 7. intermediate neutrons 8. random velocity

மான வேகமுடைய நியூட்ரான்களை வெப்ப நியூட்ரான்கள்[1] என்று குறிப்பிடுவது வழக்கம்.

வெப்ப நியூட்ரான்களல்லாமலும், 1 எ. வோ. க்குக் குறைந்த சக்தியும் கொண்ட நியூட்ரான்களைப் பொதுவாக குறைவேக நியூட்ரான்கள்[2] என்பர்.

நியூட்ரானின் இடையீட்டுச் செயல்கள்[3]

ஓர் ஊடகத்தின்[4] இடையே ஒரு பொருள் செல்லும்போது, அப் பொருள் பல செயல்களில் ஈடுபடலாம். இவ்வகைச் செயல்களையெல்லாம், பொதுவாக (அந்த ஊடகத்தில் ஏற்படும்) அப் பொருளின் இடையீட்டுச் செயல்கள் என்று கூறுவர்.

நியூட்ரான்களைப் பொறுத்தவரை, அவை பிற அணுக்களினூடே செல்லும்போது ஏற்படக்கூடிய விளைவுகளை இரு பெரும் பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம் :

(1) சிதறல்[5]
(2) கிரகிப்பு[6].

நியூட்ரான்கள் மூலக அணுக்களுடன் மோதுவதால் ஏற்படுவதே சிதறல் ஆகும். இம் மோதல்களால் அணுக்கரு, நியூட்ரான் இவற்றின் சக்தியில் மாற்றங்கள் ஏற்படுமேயன்றி அணுக்கரு மாறிவிடுவதில்லை.

நியூட்ரான்கள் மூலக அணுக்களால் கிரகிக்கப்படுவதே கிரகிப்பு ஆகும். இதன் பயனாக கருக் கிரியைகள் நிகழலாம். விளைவுகள் இக் கிரியைகளைப் பொறுத்து அமையும்.

நியூட்ரானின் சிதறல் இருவகை மோதல்களால் ஏற்படலாம்.

(1) மீட்சி மோதல்[7]

இவ்வகை மோதலில் நியூட்ரான், மோதலுக்குள்ளான அணுக்கரு இவற்றின் மொத்த சக்தி பகிர்ந்து கொள்ளப்படுகிறது. வேறு மாற்றம் ஏதும் நிகழ்வதில்லை.

கருக் கிரியைகளில் வெளிப்படும் நியூட்ரான்கள் பொதுவாக வேக நியூட்ரான்களே ஆகும். இவற்றோடு ஒப்பிடும்போது ஊடக அணுக்கள் வேகமின்றி, அசைவற்று இருப்பதாகக் கருதலாம். மீட்சி மோதல் காரணமாக வேக நியூட்ரானின் சக்தி பங்கிடப்படுவதால் அதன் வேகம் வெகுவாகக் குறைகிறது.

ஊடக அணு, எடையில்* மிகக் குறைவாக இருந்தால் நியூட்ரானிடமிருந்து அதிக சக்தியையும், அதிக எடையுடையதானால் குறைந்த சக்தியையும் பெறுகிறது.

---

* திணிவு என்று கூறுவது சிறப்பு.

1. thermal neutrons 2. slow neutrons 3. interactions 4. medium 5. scattering 6. absorption 7. elastic scattering.

ஆகவே, அணுத்திணிவெண் குறைந்த (அதாவது லேசான) மூலகங்களைக் கொண்ட ஊடகங்களில் மீட்சி மோதலால் வேக நியூட்ரானின் வேகம் வெகுவாகக் குறையும். இம்மாதிரி ஊடகங்களாவன நீர் [1], கனநீர் [2], பாரஃபின் [3], கிராஃபைட் [4] போன்றவையாம். ஹைடிரஜன் அணுவோடு மோதினுலோ, நியூட்ரான் தன் சக்தியில் சுமாராகப் பாதியை இழந்து விடுகிறது.

(2) மீட்சியிலா மோதல் [5]

மேற்கண்ட மீட்சி மோதலில் இயங்கு சக்தி பகிர்ந்து கொள்ளப் பட்டது. ஆனுல் மீட்சியிலா மோதலில், நியூட்ரானின் இயங்கு சக்தியில் ஒரு பகுதி அணுக்கருவினுல் எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது. எஞ்சிய சக்தியே பகிரப்படுகிறது. இதன் விளைவாக நியூட்ரானின் சக்தி வெகுவாகக் குறைகிறது. அணுக்கருவோ தான் பெற்ற அதிக சக்தி காரணமாகத் தன் ஸ்திர நிலையிலிருந்து அதிக சக்தி மட்டமுள்ள நிலைகளுக்கு உயர்த்தப்படுகிறது.*

இத்தகைய மீட்சியிலா மோதல் பொதுவாக கன மூலகங்களிலேயே நடைபெறுகிறது.

வேக நியூட்ரான்களின் வேகத்தைக் குறைத்து வெப்ப நியூட்ரான்களாக்க விரும்பினுல்† மேற்கூறிய மோதல் அல்லது சிதறல் செய்கை மிகுதியாக உடைய ஊடகங்களைப் பயன்படுத்த வேண்டும். மேற்கூறியபடி, கன மூலகங்களில் மீட்சியிலா மோதல் மிகுதியாக நிகழ்ந்து (சில மோதல்களிலேயே) நியூட்ரானின் வேகம் வெகுவாகக் குறைந்து விடலாம் என்ருலும், கன மூலகங்களில் நியூட்ரான்கள் பிற்கூறவிருக்கும் பிற கருக்கிரியைகளைப் புரிவதற்கான வாய்ப்பு மிக அதிகமாக இருக்கிறது.

எனவே, கருக்கிரியைகளுக்கான முகப்பரப்பு குறைவாகவும், மோதல்கள் மிகுதியாகவும் நிகழக்கூடிய ஊடகங்களைத் தேர்ந்தெடுக்க வேண்டும். இவை பெரும்பாலும் மீட்சி மோதலை நிகழ்த்தும் லேசான மூலகங்களேயாம்.

நியூட்ரான் கிரகிப்பு

நியூட்ரான் அணுக்கருக்களால் கிரகிக்கப்பட்டு, பல கருக்கிரியைகள் நிகழலாம். அவற்றுட் சில :

---

* இவ்வாறு அதிக சக்தி பெற்ற அணுக்கரு தனது இயல்பான நிலைக்குத் திரும்ப வரும்போது, இந்த அதிக சக்தியைக் காமாக் கதிராக வெளியிடுகிறது.

† இதுவே 'தணித்தல்' [6] ஆகும். இது பற்றி விரிவாக 'அணு உலை—பௌதிகம்' என்ற அத்தியாயத்தில் காணலாம்.

1. (ordinary) water 2. heavy water 3. paraffin 4. graphite 5. inelastic scattering 6. moderation.

(1) ஆல்ஃபா வெளியிடு கிரியை (n, α):

உதாரணம்: $_3Li^6 + _0n^1 \longrightarrow _2He^4 + _1H^3 + Q^*$.

இவை சாதாரணமாக சக்தி வெளியிடு கிரியைகள்.[1](†) லேசான மூலகங்களில் குறைவேக நியூட்ரானும், கனமூலகங்களில் வேக நியூட்ரானும் இவ்வகைக் கிரியை புரிகின்றன.

(2) புரோட்டான் வெளியிடு கிரியை (n, p):

உதாரணம்: $_7N^{14} + _0n^1 \longrightarrow _6C^{14} + _1H^1$.

இவை சாதாரணமாக சக்தி ஏற்புக் கிரியைகள்.[2](‡) எனவே, இவ்வகைக் கிரியைகளை வேக நியூட்ரானுலேயே நிகழ்த்த இயலும்.

(3) கதிர்வெளியிடு கிரியை (n, γ):

உதாரணம்: $_{79}Au^{197} + _0n^1 \longrightarrow _{79}Au^{198} + \gamma$.

இவ்வகைக் கிரியைகளில் நியூட்ரான் கிரகிக்கப்பட்டு கிரியைக்குள்ளாகும் அணுக்கருவின் திணிவெண்ணைவிட அதிகமான திணிவெண் கொண்டதும், ஆனால் அதனுடைய அணுஎண்ணே உள்ளதுமான புதிய அணுக்கரு உண்டாகிறது. இது கிரியைக்குள்ளான மூலகத்தின் ஒரு ஐஸோடோப்பு ஆகும்.

(4) $(n, 2n)$ கிரியை:

உதாரணம்: $_{29}Cu^{63} + _0n^1 \longrightarrow _{29}Cu^{62} + 2_0n^1$.

இக்கிரியைகளில் ஒரு நியூட்ரான் கிரகிக்கப்பட்டு, இரு நியூட்ரான்கள் வெளிப்படுகின்றன.

(5) பிளவுக்கிரியை[3]

சாதாரணமாகக் கருக்கிரியைகளில் மேல்கூறிய துகள்களே வெளியாகின்றன; தாக்கப்பட்ட அணுக்கரு அதிக எடைமாற்றம் அடைவதில்லை. ஆனால், சிலபோது, கன மூலகங்கள் இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட பெருந்துண்டங்களாகப் பிரிந்துவிடலாம். இது பிளவுக்கிரியை எனப்படும்.

இதைப்பற்றிப் பிறகு விரிவாகக் காண்போம்.

நியூட்ரானின் இடையீட்டுச் செயல்களின் சாராம்சத்தை படம் 3-7இல் காண்க.

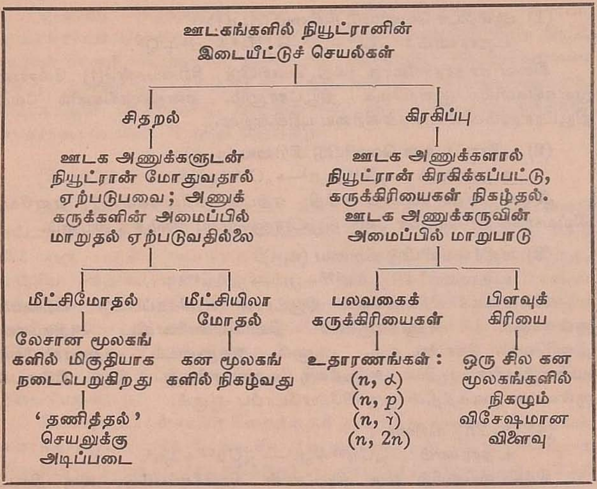
---

* இங்கு Q என்பது சக்தி வெளிப்படுகிறது என்பதைக் குறிக்கிறது. இந்த சக்தி, கிரியையின் பயனுக விளையும் பொருள்களின் இயங்குசக்தியாக வெளிப்படும்.

† இத்தகைய கிரியைகளில் விளைபொருள்களைத் தவிர, சக்தியும் வெளியாகிறது.

‡ இத்தகைய கிரியைகளை நிகழ்த்த, சக்தியை அளிக்கவேண்டியது அவசியமாகிறது. பொதுவாக தாக்குகணைத் துகள்களின் இயங்குசக்தியாக இது அளிக்கப்படலாம்.

1. exoergic reactions 2. endoergic reactions
3. fission reaction.



படம் 3-7. நியூட்ரானின் இடையீட்டுச் செயல்கள்

அணுப்பிளவு

1939ஆம் ஆண்டு, ஆட்டோ ஹான்[1], ஸ்ட்ராஸ்மன்[2] என்ற ஜெர்மானிய விஞ்ஞானிகள் யுரேனியத்தை நியூட்ரானல் தாக்கிச் சோதனைகள் செய்துவந்தனர். யுரேனியத்தின் ஐஸோடோப்பு உண்டாகும் என்று எதிர்பார்த்தனர். ஆனல் கிரியையிலிருந்து வெளிப்படும் பொருளில் பேரியம்[3] காணப்பட்டது. யுரேனியத்தின் அணுஎண் 92. பேரியத்தின் அணு எண்ணே 56 தான். இத்தகைய கருக்கிரியை இதுவரை அறியப்படாததாகும்.

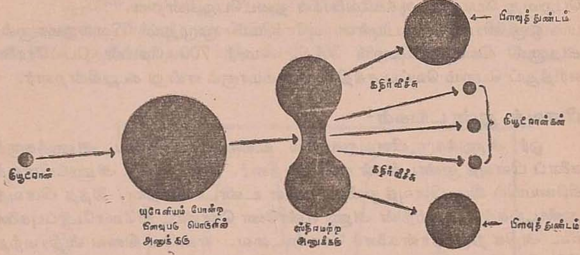
'இது எப்படி சாத்தியம்?' என்ற வினவிற்கு மைட்னர்,[4] ஃப்ரிஷ்[5] என்ற விஞ்ஞானிகள் விடையளித்தனர். 'யுரேனியத்தின் கரு இரு அணுக்கருக்களாகப் பிளவுபடுகிறது; அவ்விரு கருக்களில் ஒன்றே பேரியமாகும்,' என்று அவர்கள் எடுத்துரைத்தனர்.*

---

* யுரேனியம்—238இன் பிளவால் பேரியம் வெளிப்படுவதைச் சமன்பாட்டால் குறித்தால்:

$${}_{92}U^{238} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_{56}Ba^{145} + {}_{36}Kr^{94}$$ ஆகும்.

1. Otto Hahn 2. Strassman 3. barium
4. Meitner 5. Frisch.



படம் 3–8. அணுப்பிளவுக் கிரியை

இந்த விளக்கம் அணுத்துறையில் ஒரு பரபரப்பை ஏற்படுத்தியது. அணுவைப் பிளக்கமுடியும் என்று கண்ட விஞ்ஞானிகள் அணுப் பிளவைப் பற்றிய ஆராய்ச்சியில் தலைப்பட்டனர்.

பிளவுறும் பொருள்கள்

எல்லா மூலகங்களும் அணுப்பிளவுக்கு உள்ளாவதில்லை. கன மூலகங்களே - அவற்றுள்ளும் குறிப்பாகச் சில மட்டுமே - இப்பிளவுக் கிரியைக்குள்ளாகின்றன. அம்மூலகங்களிலும், ஒருசில ஐஸோடோப்புகள் மட்டுமே இக்கிரியைக்குச் சாதகமாக இருக்கின்றன என்று அறிந்தனர். இவற்றுள் முக்கியமானவை: தோரியம்–232, யுரேனியம்–233,.235, 238, புளூட்டோனியம்–239 ஆகியவை. (இவற்றுள்ளும் பயன்படக் கூடியவை எவை என்பதைப் பின்னர்க் காண்போம்.)

பிளவிலிருந்து சக்தி

ஓர் அணு பிளவுறும்பொழுது பேரளவான சக்தி வெளிப்படுவதைக் கண்டனர். யுரேனியப் பிளவிலிருந்து*, (ஒவ்வொரு பிளவுக்கும்) சுமார் 200 மி. எ. வோ. சக்தி வெளிப்பட்டது.† இது சாதாரண சக்தி வெளியிடு கருக்கிரியைகளிலிருந்து வெளிப்படும் உச்சபக்ஷ சக்தியைப் போல் பத்து மடங்காகும்.

இவ்வாறு வெளிப்படும் சக்தி பிளவினின்று வெளியாகும் கருக்களுக்கும், (பிற) துகள்களுக்கும் இயங்குசக்தியாகக் கொடுக்கப்

---

* பிற அணுக்கள் பிளவுறும்போதும் ஏறத்தாழ இதே அளவு சக்தி வெளிப்படுகிறது என்றும் அறியப்பட்டுள்ளது.

† இதைக் கணக்கிடும் ஒரு முறையைப் பிற்சேர்க்கைகள் 3, 4இல் காண்க.

படுகிறது. இச்சக்தியைப் பயன்படுத்தியே அணுவினின்று மின்சாரம் பெறுவது போன்ற ஆக்கவேலைகள் நடைபெறுகின்றன.

ஒரு கிராம் எடையுள்ள யுரேனியம் முழுதும் பிளவுறுமானால், அதனால் கிடைக்கப்பெறும் சக்தி, சுமார் 700 கேலன் பெட்ரோலை எரித்துப் பெறும் வெப்ப சக்திக்குச் சமமாகும் என்று கூறுகின்றனர்.

பிளவுத் துண்டங்கள்[1]

ஓர் அணுக்கரு பிளவுறுவதால் உண்டாகும் புதிய அணுக்கருக்களைப் பிளவுத் துண்டங்கள் என்கின்றனர். பொதுவாக, அணுப்பிளவுக் கிரியையில் இரு பிளவுத்துண்டங்களே உண்டாகின்றன. இந்த பிளவுத் துண்டங்கள், அவற்றின் அணு எண்ணே கொண்ட ஐஸோடோப்புகளை விட அதிக நியூட்ரான்களைக் கொண்டவை. எனவே இவை ஸ்திரமற்ற நிலையில் இருக்கின்றன. ஸ்திரநிலையை அடையும் பொருட்டு இவை பீட்டாத் துகள்களை வெளிவிடுகின்றன.

உதாரணமாக U–238இன் ஒரு பிளவைக் காண்போம்.

$${}_{92}U^{238} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{51}Sb^{133} + {}_{41}Nb^{105} + {}_{0}n^{1}$$

அதாவது

(யுரேனியம்) + (நியூட்ரான்) → (அன்டிமனி)
+ (நையோபியம்)
+ நியூட்ரான்

இவற்றுள் ஸ்திரமற்ற Sb^{133} கீழ்க்காணுமாறு சிதைவுறுகிறது.

$${}_{51}Sb^{133} \xrightarrow{\beta} {}_{52}Te^{133} \xrightarrow{\beta} {}_{53}I^{133}$$

$$\xrightarrow{\beta} {}_{54}Xe^{133} \xrightarrow{\beta} {}_{55}Cs^{133}$$ (நிலையான ஐஸோடோப்பு)

பிளவுத்துண்டங்களைப் பிளவின் முதல் விளைபொருள்கள்[2] என்றும், அவை சிதைவுற்று விளைவாகக் கிடைக்கும் பல்வேறு பொருள்களைப் பிளவுவிளைபொருள்கள்[3] என்றும் குறிப்பிடுவது வழக்கம்.

அதாவது ஸ்திரமற்ற அன்டிமனி–133 படிப்படியாக பீட்டாத் துகள்களை வெளியிட்டுக் கொண்டு, முறையே டெலூரியம், அயொடின், ஜெனான் என்ற மூலகங்களாக மாறி, கடைசியில் ஸ்திர ஐஸோடோப்பான ஸீஷியம்–133ஆக மாறுகிறது.

பிளவு விளைபொருள் விகிதாசாரம்[4]

அணுப்பிளவுகளிலிருந்து எப்போதும் குறிப்பிட்ட மூலகங்களோ, ஐஸோடோப்புகளோ மட்டும் தோன்றுவதில்லை. வெவ்வேறு பொருள்கள் பிளவுத் துண்டங்களாகத் தோன்றுகின்றன.

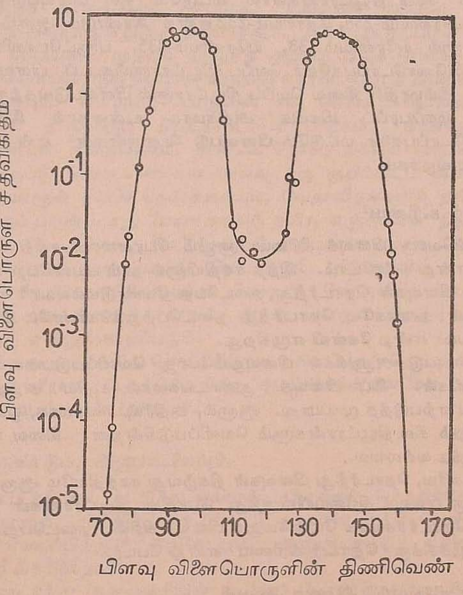
---

1. fission fragments 2. primary fission products 3. fission products 4. fission yield.

உதாரணமாக யுரேனியம்–235 கீழ்க்கண்டவாறு பிளவுறுகிறது:

$$_{92}U^{235} + {}_0n^1 \rightarrow {}_{38}Sr^{95} + {}_{54}Xe^{139} + 2{}_0n^1$$

ஆனால், இந்தச் சமன்பாடு ஒருவகைப் பிளவுக் கிரியையை மட்டுமே குறிக்கிறது. யுரேனியம்–235 பிளவுபடுவதால் வேறுபல



படம் 3-9. பிளவு விளைபொருள் விகிதாசரம் (வரைப்படம்)

பிளவுத் துண்டங்களும் உண்டாகலாம். இவை கதிரியக்கச் சிதைவு அடைவதால் பலவகை விளைபொருள்கள் உண்டாகும். இந்தப் பிளவு விளைபொருள்களின் எண்ணிக்கையை மொத்தத்தின் சதவிகிதமாகக் கூறினால், பிளவு விளைபொருள் விகிதாசாரம் கிடைக்கிறது. இதைப் படம் 3-9 காட்டுகிறது.

நியூட்ரானின் வேகமும், பிளவுக் கிரியையும்

பிளவுக் கிரியை நிகழ்வதற்கு முதலில் அணுக்கருவினுல் நியூட்ரான் கிரகிக்கப்படவேண்டும். கிரகிக்கப்பட்ட நியூட்ரான் பிளவு நிகழ்த்துவதற்கான வாய்ப்பையும் பெற்றிருக்கவேண்டும்.

இவ்விரண்டையும் கருதும்போது, பிளவுபடக்கூடிய ஐஸோடோப்புகளிலும் வேக நியூட்ரான்களால் மட்டுமே சில பிளவுபடுகின்றன. இவை யுரேனியம்-238, தோரியம்-232 என்ற இரண்டும் ஆகும்.

ஆனுல் யுரேனியம் 233, யுரேனியம்-235, புளூட்டோனியம்-239 ஆகிய ஐஸோடோப்புகளோ வெப்ப நியூட்ரானுல்கூடப் பிளவுபடுகின்றன.* இம்மாதிரி இவை வெப்ப நியூட்ரானுல் பிளவுபடுவதற்கு ஆன பிளவு முகப்பரப்பு மிகமிக அதிகமாக உள்ளதால் இம்மூன்று ஐஸோடோப்புகளே மட்டுமே **பிளவுபடு பொருள்கள்**[1] என்று குறிப்பிடுவது வழக்கம்.

தொடர் கிரியை[2]

ஒவ்வொரு பிளவுக் கிரியையினுலும் பேரளவான சக்தி வெளியாகிறது என்று கண்டோம். இந்த சக்தியினுல் நாம் பயன்பெற வேண்டுமானுல் பிளவுகள் தொடர்ந்து நடைபெற வேண்டுமல்லவா? எனவே, பிளவுகள் தாமாகவே தொடர்ந்து நடைபெற்றுக்கொண்டே இருப்பது சாத்தியமா என்ற கேள்வி எழுகிறது.

பிளவுபடு அணுக்கள் பிளவுறும்போது வெளிப்படுபவை பிளவுத் துண்டங்கள். இப் பிளவுத் துண்டங்களால் புதிய அணுக்களில் பிளவை ஏற்படுத்த முடியாது. ஆனுல், அதிர்ஷ்ட வசமாக, ஒவ்வொரு பிளவிலும் சில நியூட்ரான்களும் வெளிப்படுகின்றன. இவை பிளவை ஏற்படுத்த வல்லவை.

ஆகவே, தொடர்ந்து பிளவுகள் நிகழ்வது சாத்தியமே ஆகும்.

ஒரு பிளவுக் கிரியையிலிருந்து போதிய நியூட்ரான்கள் வெளிப்பட்டு, தொடர்ச்சியாக மேன்மேலும் பிளவுக் கிரியை நடைபெறுமானுல், இந்நிகழ்ச்சிக்கு 'தொடர் கிரியை' என்று பெயர்.

வரம்பு நிலையும், அணுஉலையும்

ஒவ்வொரு பிளவிலிருந்தும் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட நியூட்ரான்கள் வெளிப்படினும், அவற்றில் ஒன்ருவது மற்ருெரு பிளவுபடு கருவைத் தாக்கிப் பிளவை ஏற்படுத்தாவிடில், தொடர்கிரியை நடைபெருமல் தடைப்பட்டுவிடும்.

---

* இம்மூன்று ஐஸோடோப்புகளும் வேக நியூட்ரானுலும் பிளவுபடக்கூடியவை; ஆனுல் அதற்கான முகப்பரப்பு வெப்ப நியூட்ரானுக்கானதைவிடக் குறைவாகும்.

1. fissile materials 2. chain reaction.

ஏதோ ஒரு குறிப்பிட்ட கன அளவுள்ள பிளவுபடுபொருளை எடுத்துக்கொள்வோம். இதனுள் ஒருசில அணுப்பிளவுகள் நிகழ்ந்தன என்றும் கொள்வோம். இந்தப் பிளவுகளிலிருந்து வெளிப்படும் நியூட்ரான்களில் ஒரு பகுதி இந்தக் கன அளவு பொருளிலிருந்து வெளியே தப்பித்துச் சென்றுவிடும். எஞ்சியவை கிரகிக்கப்பட்டு அணுக்கருக் கிரியைகளில் ஈடுபடும். இவற்றில் ஒருசில அணுப் பிளவுகளை நிகழ்த்துவதும் சாத்தியமாகும். இவ்வாறு ஏற்படும் அணுப் பிளவுக் கிரியைகள், முதலில் நிகழ்ந்த அணுப்பிளவுக் கிரியைகளைவிட எண்ணிக்கையில் குறையாமல் இருந்தால்தான் தொடர் கிரியை நடைபெற முடியும். பிளவுபடு பொருளின் கன அளவு மிகக் குறைவாக இருந்தால் தப்பிவிடும் நியூட்ரான்களே அதிகம்; கிரகிக்கப்படும் நியூட்ரான்கள் குறைவாகும். எனவே தொடர் கிரியை நடைபெறுது.

பிளவுபடு பொருளின் கன அளவு ஒரு குறிப்பிட்ட அளவிற்கு* மேற்படுமானால் தப்பிச் சென்றவையும், வேறு விதங்களில் நஷ்டமாகி பிளவுக்குப் பயன்படாது போனவையும் தவிர, எஞ்சியுள்ள நியூட்ரான்கள் தொடர் கிரியை நிகழ்த்தப் போதுமானவையாக இருக்கும். தொடர்கிரியை நடைபெறத் தொடங்கும் நிலையையே வரம்பு நிலை[1] என்பர்; அப்போதுள்ள பிளவுபடு பொருளின் கன அளவு வரம்புக் கன அளவு[2] என்றும், அதன் பொருள் திணிவு வரம்புத் திணிவு[3] என்றும் கூறப்படும்.

எந்த ஒரு நிலையில் தொடர்கிரியை நடைபெறத் தொடங்கி, கருப் பிளவுகள் சீரான வீதத்தில் நிகழ ஆரம்பிக்கின்றனவோ, அந்நிலையையே ‘வரம்பு நிலை’ என்பர்.

அணுகுண்டும், அணு உலையும்

தொடர்கிரியை கட்டுக்கடங்காமல், பிளவுகள் பெருகிக்கொண்டே போகுமானால், குறுகிய காலத்தில் பேரளவான சக்தி வெளிப்படும். இது ‘வெடிப்பிற்கு’[4] அடிகோலும். அணுகுண்டில்[5] உண்டாக்கப் படுவது இந்நிலைதான்.

தொடர்ந்து அணுசக்தியின் பயனைப் பெறுவது அணுஉலை[6] யால்தான். கட்டுப்படுத்தப்பட்ட முறையில் தொடர்கிரியை ஏற்படுத்தி நடத்தவும், தேவையானபோது நிறுத்தவும் தகுந்தவாறு அமையப் பெற்றுள்ள சாதனமே அணுஉலையாகும்.

---

* இந்த கன அளவானது பிளவுபடு ஐஸோடோப்பையும் அருகிலுள்ள பொருள்களையும், பிளவு நிகழும் இடத்தின் அமைப்பையும் பொறுத்து மாறுபடும்.

1. criticality 2. critical volume 3. critical mass 4. explosion 5. atom bomb 6. (atomic) reactor.

வளமுடைப் பொருள்கள்[1]

பலவகையான கருக்கிரியைகளைப் பற்றி முன்பே கூறினோம். இப்பொழுது இரண்டு விசேஷமான கருக்கிரியைகளைக் கவனிப்போம்.

இயற்கைத் தோரியத்தை வேக நியூட்ரான்கள் தாக்குவதாகக் கொள்வோம். இயற்கைத் தோரியத்தில் பெரும்பான்மையாக இருப்பது தோரியம்–232 ஆகும். இது நியூட்ரானால் தாக்கப்பட்டு, கருக்கிரியை நிகழ்வதால், புரோட்டாக்டினியம்–233 [2] என்ற ஐஸோடோப்பு தோன்றுகின்றது. இந்த ஐஸோடோப்போ நிலையற்ற, கதிரியக்க ஐஸோடோப்பாகும். இது பீட்டாச் சிதைவுக்கு உள்ளாகிறது. விளைவாக, யுரேனியம்–233 என்ற ஐஸோடோப்பு உண்டாகிறது. இவற்றைக் கீழ்வரும் கருக்கிரியைச் சமன்பாடுகள் காட்டுகின்றன.

$$_{90}Th^{232} + {_0}n^1 \rightarrow {_{90}}Th^{233*} + \gamma$$
$$_{90}Th^{233*} \rightarrow {_{91}}Pa^{233*} + e^-$$
$$_{91}Pa^{233*} \rightarrow {_{92}}U^{233*} + e^-$$

இதைப் போலவே, இயற்கை யுரேனியத்தை வேக நியூட்ரான்கள் தாக்குவதால் ஏற்படும் கருக்கிரியையைப் பின்வரும் சமன்பாடுகள் விளக்குகின்றன. (இயற்கை யுரேனியத்தில் பெருமளவு யுரேனியம்–238 இருக்கிறது.)

$$_{92}U^{238} + {_0}n^1 \rightarrow {_{92}}U^{239*} + \gamma$$
$$_{92}U^{239*} \rightarrow {_{93}}Np^{239*} + e^-$$
$$_{93}Np^{232*} \rightarrow {_{94}}Pu^{239} + e^-$$

இதில், முதலில் நெப்டூனியம்–239 உண்டாகிப் பின் புளூட்டோனியம்–239 ஆக மாறுகிறது.

இவ்விரு கிரியைகளிலும் முறையே யுரேனியம்–233-ம், புளூட்டோனியம்–239-ம் விளைபொருள்களாகக் கிடைக்கின்றன. இந்த இரண்டும் அணுஉலையில் தொடர்கிரியைக்குக் காரணமான பிளவுபடுபொருள்கள் என்று அறிவோம். ஆக, இக்கிரியைகளினால் பயன்மிக்க பிளவுபடு பொருள்கள் கிடைக்கப் பெறலாம்.

நியூட்ரானால் ஏற்படுத்தப்படும் கருக்கிரியைகள் காரணமாக பிளவுபடுபொருள்களை உண்டாக்கக் கூடியனவாக உள்ள தோரியம்–232ஐயும், யுரேனியம்–238ஐயும் ‘வளமுடைப் பொருள்கள்’ என்று கூறுகிறார்கள்.

வளமுடைப் பொருள்களை, செயல்படும் ஓர் அணு உலையில் வைத்திருந்தால் போதும். பிளவினால் ஏற்படும் நியூட்ரான்களில் சிலவற்றை இவை கிரகித்து, மேற்கூறப்பட்ட கருக்கிரியைகளுக்குள்ளாகி, பிளவுபடு பொருள்களை ஈனும். அவற்றைப் பிரித்தெடுத்துப் பயன்படுத்திக் கொள்ளலாம்.

---

* சமன்பாட்டிலுள்ள நக்ஷத்திரக் குறி, இந்த ஐஸோடோப்பு கதிரியக்கம் வாய்ந்தது என்பதைக் குறிக்கிறது.

1. fertile materials 2. protactinium-233.

கருவின் திரவத்துளி மாடல்[1]

கருக்கிரியைகளும், பிளவுக் கிரியையும் நிகழ்வது எப்படி என்பதை விளக்குவதற்காக நீல்ஸ் போர்[2] என்ற டேனிஷ் விஞ்ஞானி இந்த மாடலைப் பிரேரேபித்தார். இந்தக் கொள்கைப்படி, அணுக்கருவை ஒரு திரவத்துளிக்கு ஒப்பிட்டுக் கூறலாம்.

கருக்கிரியைகளுக்கு ஒரு விளக்கம்

ஒரு துகள் (B) ஒரு கருவை(A)த் தாக்குவதால் ஏற்படும் கருக் கிரியை ஒன்றைக் கருதுவோம். இரு திரவத் துளிகள் ஒன்று சேர்ந்து ஒரு பெரிய துளியாவது போல, தாக்கப்பட்ட கருவும், தாக்கும் துகளும் சேர்ந்து ஒரு புதிய கரு உண்டாகிறது. இது 'கூட்டுக்கரு'[3] எனப்படும். தாக்கிய துகளின் சக்தி கூட்டுக் கருவிலுள்ள நியூக்ளியான்களுக்கிடையே பங்கீடு செய்யப்படுகிறது. எனவே நியூக்ளியான்களின் சக்தி அதிகமாகிறது. இது திரவத்துளியை உஷ்ணப்படுத்துவதற்கு ஒப்பாகும்.

உஷ்ணப்படுத்தப்பட்ட திரவத்துளி ஆவியாகும்போது சில மூலக் கூறுகள் வெளியேறுகின்றன அல்லவா? இதைப்போலவே, கூட்டுக் கருவில் சக்திப் பரிவர்த்தனை நடைபெறும்பொழுது, ஒரு துகள் கருவிலிருந்து தப்புவதற்கு வேண்டிய அளவு சக்தியைப் பெற்று வெளியேறி விடுகிறது. சக்தி இழந்த கூட்டுக் கருவும் ஸ்திரநிலையை அடைந்து புதிய கருவாக ஆகிறது.

இந்நிகழ்ச்சியைச் சமன்பாடாகக் குறிக்கலாம்.

$$A + B \rightarrow C \rightarrow P + O.$$

அதாவது,

(கிரியை செய்யும் கரு)+(தாக்கும் துகள்)→(கூட்டுக் கரு)→
(விளையும் கரு)+(வெளியேறும் துகள்)

கனமூலகங்களின் கருக்கள்

அணுக்கருவை ஒரு திரவத்துளிக்கு ஒப்பாகக் கூறலாம் என்று கண்டோம். சாதாரணமாக திரவத்துளி கோள வடிவங் கொண்டதாயிருக்கும். கருவும் அவ்வாறே இருப்பதாகக் கொள்ளலாம். ஆனால் கனமூலகங்களில் இது சற்றே மாறுபடுகிறது. இதைச் சிறிது விரிவாகப் பார்ப்போம்.

திரவத் துளியின் உள்ளே இருக்கும் மூலக்கூறு, அதைச் சுற்றியுள்ள எல்லா மூலக்கூறுகளாலும் கவரப்படுகிறது*; எனவே, அதன் மேல் செயல்படும் நிகரவிசை பூஜ்யமாக உள்ளது.

---

* 'எந்த இரு பொருள்களுக்கும் இடையே ஒரு கவர்ச்சி விசை உண்டு; அது, அப்பொருள்களின் திணிவுகளையும், அவற்றிற்கிடையே உள்ள தூரத்தையும் பொறுத்தது' என்பது புவிஈர்ப்புக் கொள்கையின் ஒரு முக்கியமான தத்துவமாகும். இதன்படி, இரு மூலக்கூறுகளும் ஒன்றையொன்று கவரும்.

1. liquid drop model of the nucleus 2. Niels Bohr 3. compound nucleus.

ஆனால் துளியின் மேற்பரப்பில் உள்ள ஒரு மூலக்கூறு உட்பக்கமாக மட்டுமே கவரப்படுகின்றது. துளியை விட்டு மூலக்கூறு வெளியேரு வண்ணம் இக் கவர்ச்சிவிசையே தடுக்கிறது. புறப்பரப்பளவு மிக அதிகமாக இருந்தால் மேற்பரப்பில் அமைந்துள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையும் அதிகமாக இருக்கும். அப்பொழுது உள்ளே இருக்கும் மூலக்கூறுகளின் கவர்ச்சிவிசை இவையனைத்தையும் வெளியேரு வண்ணம் தடுத்து நிறுத்தப் போதுமானதாக இராது. எனவே சில மூலக்கூறுகள் திரவத்திலிருந்து வெளியேறிவிடும். திரவத்துளி ஸ்திரமாக இருப்பதற்கு, மூலக்கூறுகள் இவ்வாறு வெளியேரு வண்ணம் தடுக்கப்படவேண்டும். இதற்கு, துளியின் புறப்பரப்பளவு மிகக் குறைவாக இருக்கவேண்டும்.

ஒரு குறிப்பிட்ட கன அளவுள்ள பொருள் கோள வடிவத்தில்தான் மிகக் குறைந்த புறப்பரப்பளவை உடையதாக இருக்கும். திரவத்திலிருந்து வெளியேறும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை குறைந்த அளவினதாக இருப்பதற்கு, புறப்பரப்பளவு குறைவாக இருக்க வேண்டுமாதலால், திரவத் துளி கோள வடிவத்தையே அடைய முயல்கிறது.

திரவத் துளியில் உள்ளது போலவே அணுக்கருவிலுள்ள நியூக்ளியான்களுக்கு இடையிலும் ஒரு கவர்ச்சி விசை உண்டு. எனவே அணுக்கருவும் கோள வடிவத்தில் இருப்பதாகக் கருதலாம்.

ஆனால், அணுத் திணிவெண் அதிகரிக்க அதிகரிக்க, கருவிலுள்ள புரோட்டான்கள், நியூட்ரான்கள் இவற்றின் எண்ணிக்கையும் அதிகரிக்கிறது. புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கை அதிகமாவதால் அவற்றிற்கிடையேயுள்ள கூலூம் விசை[1] (அல்லது மின்விலக்கு விசை[2]), புரோட்டான்கள் மிக நெருக்கமாகப் பிணைந்திருக்க முடியாமற் செய்கிறது. இதனால் கோள வடிவத்தில் இருந்திருக்க வேண்டிய கரு சற்றே விகாரமடைகிறது.*

ஆக, கன மூலகங்கள் எனப்படும் அணுத் திணிவெண் அதிகமாக உள்ள மூலகங்களின் கருவை, கோள வடிவத்திலிருந்து விகாரமடைந்த ஒரு திரவத் துளிக்கு ஒப்பாகக் கொள்ளலாம்.

நியூட்ரானும் பிளவுக் கிரியையும்

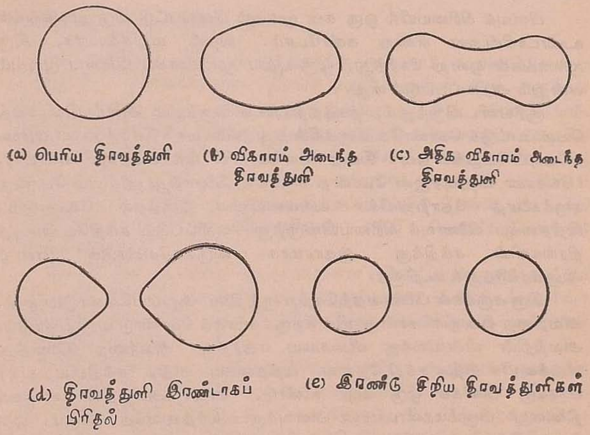
விகாரமடைந்துள்ள கன மூலகக் கருவைத் தாக்கும் நியூட்ரான், கிரகிக்கப்படுவதால் உண்டாகும் கூட்டுக் கரு, மேலும் விகாரமடைவதால் ஸ்திரமற்றதாக இருக்கிறது. ஒரு திரவத் துளியைச் சற்று இழுத்து

---

* அணுக்கருவின் அமைப்பையும், 'கருவிசை'[3] யையும், அதன் விசேஷமான குணங்களையும் கொண்டு இவ்விஷயத்தை இன்னும் விவரமாக விளக்கலாம். எளிமை கருதி இங்கு இவ்வளவே கூறப்பட்டது.

1. Coulomb force 2. electrostatic force of repulsion 3. nuclear force.

விட்டால் அது நீண்டு, சுருங்கி ஆடுவது போல, நியூட்ரான் கொடுத்த அதிர்ச்சியால் கூட்டுக் கரு படம் 3-10இல் காட்டியது போல விகாரமடைகிறது. கருவின் விகாரம் ஒரு வரம்பைத் தாண்டி விட்டால் மின்விலக்கு விசை கருவை இரண்டாகப் பிளவுபடுமாறு செய்கிறது.



படம் 3-10. அணுக்கருவின் திரவத் துளி மாடல்

சுயப் பிளவு[1]

அணுத்திணிவு எண் மிக அதிகமாக இருந்தால் கரு சமநிலை பெறுவதற்காக, கோள வடிவத்திலிருந்து மாறி, சிறிது நீண்ட உருவத்தைப் பெறுகிறது என்று கண்டோம். அணுஎண் 92க்கு மேற்பட்ட அணுக்களில், இவ்வாறு ஏற்படும் விகாரம் அளவுக்கு மீறியதாகிறது. அப்பொழுது நியூட்ரான் போன்ற வெளியுதவி இன்றி கரு சுயமாகவே பிளவுபட்டு விடுகிறது. இவ்வாறு, ஒரு கரு தானாகவே பிளவுறுவதை **சுயப் பிளவு** என்பர். ஆனால், பொதுவாக, இவ்வாறு நிகழும் பிளவுகளின் எண்ணிக்கை மிகமிகக் குறைவு.

பிளவு பொதுவாக நிகழ்வது எப்படி, அது எப்படி சாத்தியம் ஆகிறது என்பனவற்றை விளக்க மட்டுமே திரவத் துளி மாடலைப் பற்றிக் கூறினோம். பிளவுக் கிரியையின் எல்லா அம்சங்களையும் இம்

1. spontaneous fission.

மாடல் விளக்கவல்லதன்று. பல விசேஷ அம்சங்களை விளக்கப் பல புதிய கொள்கைகள் எழுந்துள்ளன. சுருக்கம் கருதி இங்கே அவை கூறப்படவில்லை.

பிணைவுக் கிரியை[1]

பிளவுக் கிரியையில் ஒரு கன மூலகம் பிளவுபட்டு இரு மூலகங்கள் உண்டாகின்றன என்று கண்டோம். இதன் மறுதலையாக, இரு மூலகங்கள் ஒன்று சேர்ந்து, ஒரு புதிய மூலகமாகப் பிணைய முடியும் என்றும் அறியப்பட்டுள்ளது.

சூரியனிடமிருந்தும், நக்ஷத்திரங்களிலிருந்தும் அளப்பரிய சக்தி வெளிப்பட்டுக் கொண்டே இருக்கின்றது அல்லவா? இச்சக்தியை அவை எப்படிப் பெறுகின்றன? இதை விளக்க, 1939இல் பெத்தே[2] என்பார், 'லேசான ஹைடிரஜன் போன்ற கருக்கள் இணைந்து ஹீலியம் போன்ற கருக்களைத் தோற்றுவிக்க வல்லவையாக இருத்தல் வேண்டும்; இத்தகைய பிணைவுக் கிரியையிலிருந்து வெளிப்படும் சக்தியே நக்ஷத்திரங்களின் சக்திக்கு ஆதாரமாக இருக்கவேண்டும்' என்று அனுமானித்துக் கூறினர்.

இரு கருக்கள் பிணைவதற்கேற்ற சூழ்நிலை அமையவேண்டுமானல், அவற்றை ஒன்றுக்கொன்று மிக நெருக்கமாகக் கொண்டு வரவேண்டும். அவற்றின் மின்விலக்கு விசையை எதிர்த்து, அவ்வற்றை இணைத்து வைக்க மிக அதிக சக்தி தேவை. இத்தகைய அதிக சக்தியை கருக்களுக்கு அளிக்க ஒரு வழி உண்டு. அது, அவற்றின் உஷ்ண நிலையை பிரும்மாண்டமான அளவுக்கு உயர்த்துவதே ஆகும். ஒரு பொருளின் உஷ்ணநிலை உயர உயர அதன் அணுக்களின் வேகமும் அதிகரிக்கிறது. இப்பொழுது, பிணைவு நிகழ்வதற்கான வாய்ப்பு அதிகமாகிறது. இவ்வாறு மிக உயர்ந்த உஷ்ணநிலையில் நிகழும் பிணைவு போன்ற கருக்கிரியைகள் வெப்பக் கருக்கிரியைகள்[3] எனப்படுகின்றன.

சூரியன் உட்பட நக்ஷத்திரங்களில் நடைபெறும் வெப்பக் கருக்கிரியைகளே அவற்றின் இடைவிடாத, மிக அதிகமான சக்தி வெளிப்பாட்டிற்குக் காரணம் என நம்பப்படுகிறது. சூரிய கோள மையத்தின் உஷ்ணநிலை சுமார் 2 கோடி டிகிரி சென்டிகிரேடு (20,000,000°C) ஆக இருக்கக்கூடும் எனக் கருதப்படுகிறது. இந்த அதிஉஷ்ண நிலையில் இரு ஹைடிரஜன் கருக்கள் பிணைந்து ஒரு ஹீலியக் கருவைத் தோற்றுவிப்பது சாத்தியமே ஆகும். இந்தக் கிரியை பலபடிகளில் நிகழ்ந்தாலும் பிணைவு நிகழ்ச்சியை மட்டும் கீழ்வரும் சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம்.

---

1. fusion reaction 2. Bethe.
3. thermonuclear reactions.

$$4\,{}_1H^1 \rightarrow {}_2He^4 + e^+ + e^+$$

அதாவது, 4 ஹைடிரஜன் கருக்கள் பிணைந்து ஒரு ஹீலியக் கருவைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இந்த ஒவ்வொரு பிணைவுக் கிரியையிலும் 26·7 மி.எ.வோ. அளவான சக்தி வெளிப்படுகிறது.*

பிணைவுக்கு ஒரு விளக்கம்

அணுக்கருவை ஒரு திரவத்துளிக்கு ஒப்பாகக் கூறலாம் என்று கூறினேம். கோளவடிவத் திரவத்துளிபோலுள்ள இரு கருக்கள் ஒன்று சேர்ந்து ஒரு புதிய கரு ஆகிறது என்று கொள்வோம். முன்பே விளக்கியபடி இந்தப் புதிய கருவும் கோளவடிவத்தையே அடையும். இதன் புறப்பரப்பளவு, ஒன்று சேர்ந்த கருக்களின் தனித் தனி புறப்பரப்பளவின் கூட்டுத் தொகையைவிட சுமார் 25 சதவிகிதம் குறைவாகவே இருக்கும். எனவே இந்தப் பரப்பில் தேங்கியுள்ள சக்தி வெளிப்படும். இதுவே பிணைவினுல் சக்தி வெளிப்படுவதற்குக் காரணமாகும்.

ஆனுல், பிணையும் இரு கருக்களிலுள்ள புரோட்டான்களும் கூட்டுக் கருவினுள் அடங்குவதால், கூட்டுக் கருவிலுள்ள மின்விலக்கு விசை அதிகமாகிறது. இந்த விசை பிணைவினுல் வெளிப்படும் சக்தியின் அளவைக் குறைக்கும்.

ஹைடிரஜன், டியூடிரியம், ஹீலியம் போன்ற அணுஎண் குறைந்த மூலகங்களின் கருக்கள் பிணையும்போது, (புரோட்டான்களின் மொத்த எண்ணிக்கை குறைவாகவே இருப்பதால்) ஏற்படும் மின்விலக்கு விசை அதிகமன்று. எனவே பிணைவினுல் சக்தி நிகரமாக வெளிப்படுகிறது.

அணுஎண் அதிகரிக்க அதிகரிக்க, வெளிப்படும் நிகர சக்தியின் அளவும் குறைந்துகொண்டே வருகிறது. கூட்டுக் கருவின் அணுஎண் ஓர் அளவுக்கு அதிகமாகி விட்டால் மின்விலக்கு விசை மிக அதிகமாகி பிணைவிலிருந்து சக்தி வெளிப்பட முடியாமலாகிவிடும். இந்த நிலையில் பிணைவு நிகழ்வது சாத்தியமன்று. (இந்த அணுஎண் சுமார் 50 என்பர்). எனவே குறைந்த அணுஎண் உடைய மூலகங்களில்தான் பிணைவுக் கிரியை நிகழ்வது சாத்தியமாகும் என விளங்குகிறது.

---

* நக்ஷத்திரங்களிலிருந்து இடைவிடாமல் ஒளிவீசிக் கொண்டிருப்பதற்கு, இத்தகைய பிணைவுகள் மிகப் பலவாகவும், இடைவிடாமல் தொடர்ந்தும் நடைபெற வேண்டும். இது எப்படி சாத்தியம் என்று விளக்க முக்கியமாக இரு கொள்கைகள் உண்டு. அவை, கார்பன்-நைட்ரஜன் வட்டம்[1], புரோட்டான்-புரோட்டன் வட்டம்[2] என்பன ஆகும். இவ்விரண்டிலும் ஆதாரமாக அமையும் பிணைவுக் கிரியையே மேலே கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

1. carbon-nitrogen cycle. 2. proton-proton cycle.

பிணவிலிருந்து சக்தி :

பிளவிலிருந்து வெளிப்படும் சக்தியைக் கணக்கிட்டது போலவே, பிணவிலிருந்து வெளிப்படக் கூடிய சக்தியையும் கணக்கிடலாம். ஹைடிரஜன் பிணவில் 4 ஹைடிரஜன் கருக்கள் பிணந்து ஒரு ஹீலியக் கரு உண்டாயிற்று என்று கண்டோம். ஹீலியக் கருவின் திணிவு இந்த நான்கு ஹைடிரஜன் கருக்களின் மொத்தத் திணிவை விடக் குறைவாகும். இந்தத் 'திணிவு இழப்பு'[1] 0·0287 அணுத் திணிவு அலகுகளாகும். இத்திணிவிழப்பு சக்தியாக வெளிப்பட வேண்டும். இது 26·7 மி.எ.வோ. சக்திக்குச் சமமாகும்.*

வெப்பக்கரு ஆயுதங்களின்[2] தத்துவம்

ஹைடிரஜன், டியூடிரியம், ஹீலியம் போன்ற லேசான கருக்கள் அடங்கியுள்ள தொகுதியின் உஷ்ணநிலையை உயர்த்திஞல் பிணவு நிகழ்வது சாத்தியமாகும். உஷ்ணநிலை உயர உயர, பிணவுகள் நிகழும் வீதமும் அதிகரிக்கும். உஷ்ணநிலையை மிக அதிகமாக்குவதால், பிணவுகளின் வீதமும் பெருகி, அபரிமிதமான சக்தி வெளியாகும். இச் சக்தி குறுகிய காலத்தில் வெளிப்படும்போது, வெடிப்பாகப் பரிண மிக்கும். இந்தத் தத்துவத்தைப் பயன்படுத்துவனவே வெப்பக் கரு ஆயுதங்கள் எனப்படுகின்றன.

இப்படிப்பட்ட ஆயுதங்களுக்கு முதலில் தேவையான அதிக உஷ்ண நிலையைப் பிளவின் மூலம் பெறலாம். இவ்வகை ஆயுதங்களை பிளவு-பிணவு குண்டுகள்[3] என்பர்.† இதற்கு உதாரணம் ஹைடிரஜன் குண்டு.

பிணவு பற்றிய ஆராய்ச்சி

வெப்பக் கருக் கிரியைகளைக் கட்டுப்படுத்திய வீதத்தில் நிகழ்த்தி, சக்தி பெற முடியுமா என விஞ்ஞானிகள் ஆராய்ந்து வருகிருர்கள். நீண்ட காலத்திற்கு சக்தியைத் தொடர்ந்து பெறுவதற்கு, பிணவுபடு பொருளை அதிக காலம் மிக அதிக உஷ்ணநிலையில் வைத்திருக்க வேண்டும். இது எப்படி சாத்தியம்? பிணவுக்குத் தேவையான உஷ்ணநிலைகளில் எவ்வகைக் கலனும் உருகி விடுமே! இதற்கு ஓர் உபாயம் உண்டு.

---

* ஓர் அணுத்திணிவு அலகுள்ள பொருள்திணிவு முழுவதும் மறையும்போது 931 மி.எ.வோ. சக்தி வெளிப்படும். இதைப் பிற்சேர்க்கை-3இல் கணக்கிட்டுள்ளதைக் காண்க.

† இவைபற்றிப் பிறிதொரு அத்தியாயத்தில் காண இருப்பதால், இங்கு இவற்றின் தத்துவம் மட்டுமே கூறப்படுகிறது.

1. mass defect 2. thermonuclear weapons
3. fission-fusion bombs.

அதிஉஷ்ண நிலையில், அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரான்களும், கருக்களும் தனித்தனியாகி விடுகின்றன. இக் கலவையைப் பிளாஸ்மா[1] என்பர். டியூடிரியப் பிளாஸ்மாவை ஒரு நீண்ட குழலில் அடக்கி, சக்தி மிக்க காந்தப் புலத்தை, குழலின் அச்சுக்கு இணையாகச் செயற் படுத்தினுல், பிளாஸ்மா ஒரு சுருள்பாதை[2]யில் செல்லும். இவ்வித மாக பிளாஸ்மாவை, கொள்கலனின் சுவர்களைத் தொடாதவாறு ஒரு காந்தப் புட்டி[3]யில் அடைத்து வெப்பக் கருக் கிரியைகளை நிகழ்த்த லாம்.

இம்முறையில் உள்ள சிக்கலான பௌதிக, பொறியியல் பிரச்சினை கள் யாவும் இன்னும் தீர்க்கப்படவில்லை. வெப்பக் கருக்கிரியைகள் மூலம் கட்டுப்படுத்தப்பட்ட சக்தி வெளிப்பாடு இன்னும் வெற்றிகரமாகப் பெறப்படவில்லை. இதைப் பற்றிய ஆராய்ச்சிகள் வெற்றிவழியில் சென்ருல், பூமியில் அபரிமிதமாகக் கிடைக்கும் ஹைடிரஜனைக் கொண்டு ஏராளமான, மலிவான சக்தி பெறும் கனவு நிறைவேறலாம்.

REFERENCES

1. J. L. CRAMMER and R. F. PEIERLS (*Editors*): "*Atomic Energy*"—Pelican Books, Harmondsworth, Middlesex.

2. A. K. SOLOMON: "*Why Smash Atoms?*"—Pelican Books, Harmondsworth, Middlesex.

3. K. MENDELSSOHN: "*What is Atomic Energy?*"—Sigma Books, London.

4. R. H. NIMMO: "*Atomic Energy*"—Chapman and Hall, London.

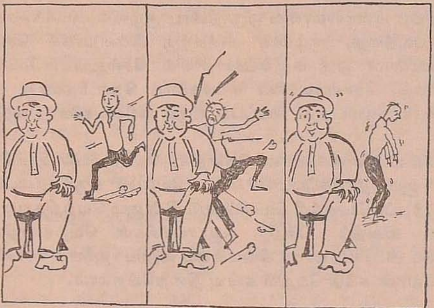
5. S. GLASSTONE: "*Source Book on Atomic Energy*"—Van Nostrand, Princeton, New Jersey.

6. H. SEMAT: "*Introduction to Atomic and Nuclear Physics*"—Holt, Rinehart and Winston, London.

7. M. KORSUNSKY: "*The Atomic Nucleus*"—Foreign Languages Publishing House, Moscow.

---

1. plasma 2. helical path 3. magnetic bottle.



4. அணு உலை—பௌதிகம்

[எஸ். சங்கரநாராயணன், கே. ஆர். சீனிவாசன்]

பௌதிக அறிவியலில், சமீபகாலமாக மிக வேகத்துடன் முன்னேறி வரும் துறைகளில் அணு உலை பௌதிகமும்[1] ஒன்று. இத்துறையின் பொதுவான நோக்கம் அணுஉலைகளில் நிகழும் அணுக்கருக்கிரியைகளின் தன்மைகளையும் அவற்றினால் விளையும் பயன்களையும் ஆராய்வதாகும். இந்நோக்கம் வெறும் ஏட்டளவாகத் தோன்றினாலும், உலகில் தற்போது நிர்மாணிக்கப்பட்டு வரும் பெரிய பெரிய அணுஉலைகளின் நிர்மாணத் திட்டங்களும், அவற்றை இயக்கப் பயன்படும் சிக்கலான முறைகளும் அணுஉலைபௌதிகத் துறையில் ஏற்பட்டுள்ள கருத்துக்களை அடிப்படையாகக் கொண்டுள்ளவையே.

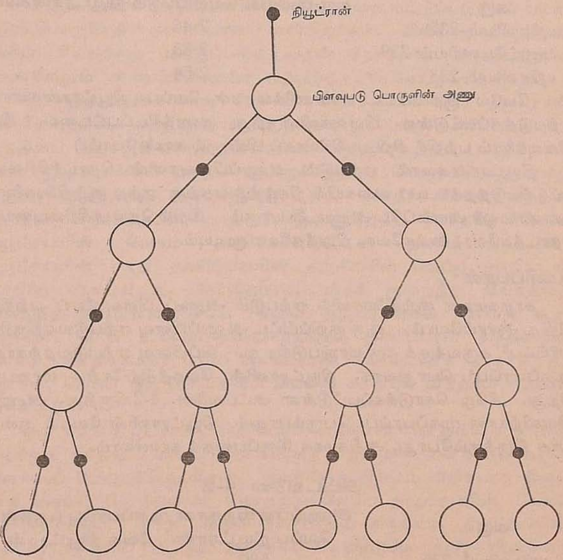
தொடர்கிரியை[2]

அணுப் பிளவுகளைப் பற்றி முன்னொரு அத்தியாயத்தில் விரிவாகக் கண்டோம். யுரேனியம்-235 போன்ற இயற்கையிலேயே நிலையற்ற அணுக்கருக்கள் தகுந்த சூழ்நிலைகளில் ஏறக்குறைய இரண்டு சம பாகங்களாகப் பிளவுபட்டுப் பெருமளவில் சக்தியை வெளிப்படுத்துகின்றன. இப்பிளவினால் ஏற்படும் துண்டங்கள் சுமார் பத்து கோடி

1. reactor physics 2. chain reaction.

எலக்ட்ரான் வோல்ட் சக்தியுடன் வெளிப்போந்தாலும், மற்ற யுரேனியக் கருக்களைப் பிளவுபடுத்த இயலாதவையாக இருக்கின்றன.

அதிர்ஷ்டவசமாக, சில நியூட்ரான்களும் பிளவுபட்ட கருக்களிலிருந்து வெளியாகின்றன. நியூட்ரான்கள் மின்னேற்றம் அற்றவையாதலால், அவை வேறு பல யுரேனியக் கருக்களுடன் தடையின்றி



படம் 4-1. தொடர்கிரியை

மோதி மேலும் அணுப்பிளவுகளை உண்டாக்கி, அதனால் மேலும் பல நியூட்ரான்களையும் சக்தியையும் வெளிப்படுத்த ஏதுவாகின்றன. அனுகூலமான சூழ்நிலைகளில் அணுப்பிளவுகள் இவ்வாறு தொடர்ச்சியாக நிகழ்வதைத்தான் தொடர்கிரியை என்று கூறுகிறார்கள். படம் 4-1 இதை விளக்குகிறது.

அணுப்பிளவிலிருந்து வெளிப்படும் நியூட்ரான்களின் சராசரி எண்ணிக்கை, பிளவுபடும் கருவின் தன்மைகள், மற்றும் பிளவு

ஏற்படுத்தும் நியூட்ரானின் வேகம் இவற்றைப் பொறுத்தது. நடைமுறையில் உபயோகப்படுத்தும் எரி பொருள்களான[1] யுரேனியம்–235, புளூட்டோனியம்–239, யுரேனியம்–233 ஆகியவற்றில் இந்த எண்ணின் மதிப்பு கீழ்வருமாறு.

அட்டவணை 4-1

கரு	ஒரு பிளவில் வெளிப்படும் நியூட்ரான்கள்*
யுரேனியம்–235	2·46
புளூட்டோனியம்–239	2·88
யுரேனியம்–233	2·54

(மேலே குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கைகள் வெப்ப நியூட்ரான்களால் ஏற்படுத்தப்பட்டுள்ள பிளவுகளிலிருந்து கணக்கிடப்பட்டவை. இப் பிளவுகளைப் பற்றிச் சிறிது விரிவாகப் பின்னால் காண்போம்.)

நியூட்ரான்களால் ஏற்படும் அணுப்பிளவுகளின் தொடர்கிரியை, கட்டுப்படுத்தக்கூடிய வகையில் நிகழ்த்துவதற்கு ஏற்ற சூழ்நிலைகளைக் கொண்ட ஓர் அமைப்பே அணுஉலையாகும். இதில் தொடர்கிரியையைத் தொடக்கவோ, காக்கவோ, நிறுத்தவோ முடியும்.

தணிப்பான்[2]

சாதகமான சூழ்நிலைகளில் ஏற்படும் அணுப் பிளவுகளைப் பற்றிச் சிறிது ஆராய்வோம். ஒரு குறிப்பிட்ட அணுப்பிளவு ஏற்படுவதற்குரிய வாய்ப்பு[3] கருவுக்குக் கரு மாறுபடுகிறது. இப்பிளவு ஏற்படுவதற்கான முகப்பரப்பு[4] பொதுவாக, நியூட்ரானின் வேகத்திற்கேற்ப மாறுபடுகிறது. கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ள அட்டவணை 4-2லிருந்து, அணுப் பிளவிற்கான முகப்பரப்பு, பெரும்பாலும், நியூட்ரானின் வேகம் குறைவாக இருக்கும்போது, அதிகமாக இருப்பதைக் காணலாம்.

அட்டவணை 4-2

கரு	அணுப்பிளவிற்கான முகப்பரப்பு (பார்ன்)[5]	
	வெப்ப நியூட்ரான்	வேக நியூட்ரான்
யுரேனியம்–235	580	1·6
புளூட்டோனியம்–239	750	1·8
யுரேனியம்–238	0	—
இயற்கை யுரேனியம்	4·18	0·29
யுரேனியம்–233	533	2·4

* மேலே பின்னங்களாக இருக்கும் எண்ணிக்கைகளை நாம் சரியாகப் புரிந்து கொள்ளவேண்டும். உதாரணமாக 100 யுரேனியம்–235 கருக்கள் பிளவுபட்டால் 246 நியூட்ரான்கள் வெளிப்படும் என்பது பொருள்.

1. fuels 2. moderator 3. probability 4. cross-section 5. barn.

இதிலிருந்து, வெப்ப நியூட்ரான்கள் வேக நியூட்ரான்களைவிட பிளவுபடு கருக்களில் அதிகப் பிளவுகளை உண்டாக்குகின்றன என்பது தெளிவாகிறது. ஆனால், பிளவுகளிலிருந்து வெளிப்படுபவை வேக நியூட்ரான்களே. இவற்றின் வேகம் சராசரியாக ஒரு செகண்டிற்கு 10,000 மைல்களாக இருப்பதால், இவற்றின் வேகத்தை செகண்டிற்கு 1·1 மைலாகக் குறைக்க வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது.

அணுஉலையில் நியூட்ரான்களின் வேகத்தை மட்டுப்படுத்தப் பயன்படும் பொருளைத் 'தணிப்பான்' என்கிறார்கள். இவ்வாறு நியூட்ரான்களின் வேகத்தை மட்டுப்படுத்துவதன் நோக்கம், அணுஉலையில் மென்மேலும் அணுப்பிளவுகளை ஏற்படுத்த அடிகோலுவதே ஆகும்.

பௌதிக விதிகளின்படி, லேசான கருக்களுடன் வேக நியூட்ரான்கள் மோதும்போது, நியூட்ரான்கள் தங்களது இயங்கு சக்தியில் பெரும் பகுதியை இழக்கும் என்று இரண்டாம் அத்தியாயத்தில் பார்த்தோம். வேக நியூட்ரான்கள் பளுவான கருக்களுடன் மோதும்போது சக்தி இழப்பு அதிகமாக இருப்பதில்லை. நீர், கனநீர் போன்றவற்றின் லேசான கருக்களுடன் மோதும்போது, குறைந்த மோதல்களிலேயே நியூட்ரானின் வேகம் தணிக்கப்படுகிறது. தணிக்கப்பட்டபின், நியூட்ரானின் சக்தி தணிப்பானின் கருக்களின் வெப்ப சக்தியுடன் சமநிலை அடைகிறது. இவ்விதமாக, மிகக் குறைந்த வேகத்தை அடைந்த நியூட்ரான்களையே 'வெப்ப நியூட்ரான்கள்' எனக் கூறுகிறார்கள். 20°C உஷ்ண நிலையிலிருக்கும் தணிப்பான் கருக்களின் இயங்கு சக்தி சுமார் 0·025 எலக்ட்ரான் வோல்ட்டாக இருக்கிறது. எனவே, வெப்ப நியூட்ரான்களின் இயங்கு சக்தியும் இதற்குச் சமமாக இருக்கும்.

ஒரு வேக நியூட்ரான், தணிப்பான் கருவுடன் மோதும்போது அது இழக்கும் சக்தியின் அளவு 'தணிக்குந் திறமை'[1] என்ற எண்ணின் அளவைப் பொறுத்திருக்கிறது. தணிக்குந் திறமை அதிகமாக இருந்தால் மிகவும் சொற்பமான மோதல்களிலேயே நியூட்ரானின் வேகம் தணிக்கப்படும். அதே சமயம் தணிப்பான் கருக்கள், நியூட்ரானின் இயங்கு சக்தியை மட்டும் குறைக்க வேண்டுமே தவிர அவற்றை மிதமிஞ்சி கிரகித்தல்[2] கூடாது. எனவே, அதிக தணிக்குந்திறமையும் குறைந்த நியூட்ரான் கிரகிக்கும் தன்மையும் கொண்ட பொருளே சிறந்த தணிப்பான் ஆகும். இவ்விரண்டு குணங்களையும் கருத்தில் கொண்டே ஒரு பொருள் சிறந்த தணிப்பானாகப் பணியாற்ற வல்லதா என்று நிர்ணயிக்க முடியும். இதற்காக, தணிப்பான் விகிதம்[3] என்ற அளவையானது வரையறுக்கப்படுகிறது. அது கீழ்க் கண்டவாறு :

---

1. slowing down power 2. absorption
3. moderating ratio.

$$\text{தணிப்பான் விகிதம்} = \frac{\text{தணிக்குந் திறமை}}{\text{கிரகிப்புக் கிரியைக்கான முகப்பரப்பு}^{*1}}$$

எனவே, தணிப்பான் விகிதம் அதிகமாக இருந்தால் அது ஒரு சிறந்த தணிப்பானுகும்.

தணிப்பான்களாக உபயோகப்படுத்தப்படும் பொருள்களில் நீர், கனநீர்,[2] கிராஃபைட்[3] முதலியவை முக்கியமானவை. இவற்றின் தன்மைகள் கீழே தரப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 4-3—தணிப்பானின் தன்மைகள்

தணிப்பான்	தணிக்குந் திறமை	தணிப்பான் விகிதம்	மோதல்களின் எண்ணிக்கை †
நீர்	1·53	72	18
கனநீர்	0·17	12,000	25
கிராஃபைட்	0·064	170	114
பெரில்லியம்[4]	0·176	159	86
யுரேனியம் ‡	—	—	2172

வரம்புநிலை கனஅளவு[5]

யுரேனியம்-235 அல்லது புளூட்டோனியம்-239 கருக்களைக் கொண்ட ஒரு கோளத்தை எடுத்துக் கொள்வோம். இதில் ஓர் அணுப் பிளவு ஏற்படுவதாக இருக்கட்டும். இப்பிளவு ஏற்பட்ட இடத்திலிருந்து நியூட்ரான்களும் வெளிப்படுகின்றன என்று நமக்குத் தெரியும். இந்த நியூட்ரான்களின் ஒரு பகுதி, கோளத்தின் வெளிப்பரப்பைக் கடந்து தப்பிவிடக்கூடும். எஞ்சிய நியூட்ரான்களில் ஒரு பகுதி புதிய அணுப் பிளவுகளை உண்டாக்கும். மற்றொரு பகுதி மற்ற கருக்கிரியைகளில் ஈடுபடும். புதிய அணுப்பிளவுகளைத் தொடர்ந்து வெளியாகும் நியூட்ரான்கள் மீண்டும் இவ்வகை நிகழ்ச்சிகளில் ஈடுபடுகின்றன.

கோளத்தின் ஆரம் சிறியதாக இருந்தால், நியூட்ரான்கள் கோளத்தைவிட்டு தப்பிச்செல்லும் வாய்ப்பு அதிகமாக இருக்கிறது.

---

* இது N, σ (ஸிக்மா) ஆகியவற்றின் பெருக்கற் பலனுகும். இங்கு N என்பது ஒரு க.செ.மீ. கனஅளவுள்ள தணிப்பானில் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை. σ என்பது ஒரு தணிப்பான் அணு ஒரு வெப்ப நியூட்ரானை கிரகிக்கக்கூடிய முகப் பரப்பு. இதன் அலகு ச.செ.மீ.இல் இருக்கும்.

† வேக நியூட்ரான்களை வெப்ப நியூட்ரான்களாக மாற்றுவதற்குத் தேவையான மோதல்களின் எண்ணிக்கை

‡ வெறும் உதாரணத்திற்குக் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. மேற்கூறிய தணிப்பான் களுள் கனநீருக்கே தணிப்பான் விகிதம் அதிகமாக இருப்பதால் அதுவே சிறந்த தணிப்பான் ஆகும்.

1. absorption cross section (macroscopic) 2. heavy water 3. graphite 4. beryllium 5. critical size, critical volume.

எனவே தொடர்ச்சியாக அணுப்பிளவுகள் நிகழக் கிடைக்கும் வாய்ப்பு குறைவாக உள்ளது. கோளத்தின் ஆரம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க, நியூட்ரான்கள் கோளத்தின் உள்ளேயே உபயோகப்படுத்தப்படும் வாய்ப்பு அதிகமாகிக்கொண்டே போவதினால், தப்பிச் செல்லும் நியூட்ரான்களின் விகிதம் (அதாவது நியூட்ரான்கள் தப்பிச் செல்லும் வாய்ப்பு[1]) குறைந்து கொண்டே போகும்.

எந்தக் கனஅளவில் கோளத்தின் உள்ளிருக்கும் நியூட்ரான்களின் சதவிகிதம் மேலும் மேலும் பிளவுகள் ஏற்படுவதற்குத் தகுந்தபடியாக இருக்கிறதோ அந்தக் கனஅளவையேதான் வரம்புநிலை கனஅளவு என்றும், இந்த கனஅளவுள்ள பிளவுபடும் பொருளின் திணிவை வரம்புநிலைத் திணிவு[2] என்றும் கூறுகிறார்கள்.

இந்தக் கனஅளவும் திணிவும் பொதுவாக அமைப்பில் உள்ள பிளவுபடும் கருக்களின் தன்மை, தணிப்பான் மற்றும் நியூட்ரான்களை கிரகிக்கும் பொருள்களின் விகிதம் முதலியவற்றைப் பொறுத்திருக்கின்றன. உதாரணமாக புளூட்டோனியம்-239 கருக்களையுடைய அணுஉலை அமைப்பின் வரம்புநிலை கனஅளவு, யுரேனியம்-235 கருக்களைக் கொண்ட அமைப்பின் வரம்புநிலை கன அளவைவிடச் சிறியதாக இருக்கிறது. ஏனெனில், புளூட்டோனியம் பிளவுகளிலிருந்து வெளிப்படும் நியூட்ரான்களின் சராசரி எண்ணிக்கை, யுரேனியம் பிளவுகளிலிருந்து வெளிவரும் நியூட்ரான்களின் சராசரி எண்ணிக்கையை விட அதிகமாக இருப்பதுதான். இதனால், பரிமாணங்கள் குறையும்போது 'தப்பிவிடும்' நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை கூடுதலாக இருந்தாலும் அதைப் பொருட்படுத்தாமலிருக்க முடிகிறது.

பொதுவாக, அணுஉலைப் பொருள்களைக்கொண்ட ஒரு கனபரிமாண அமைப்பில், பிளவுபடும் கருக்களின் எண்ணிக்கை கூடக்கூட, பிளவுகளிலிருந்து வெளிப்படும் நியூட்ரான்கள் மேலும் பிளவுகளை ஏற்படுத்தக் கிடைக்கும் வாய்ப்பு கூடுகிறது. அதாவது, இந்த வாய்ப்பு உலையின் கனஅளவிற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். அதேசமயம், நியூட்ரான்கள் அமைப்பிலிருந்து வெளியே தப்பிச் செல்வதற்கான வாய்ப்பு, அமைப்பின் புறப்பரப்பளவிற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். அதாவது புறப்பரப்பளவு அதிகரிக்க அதிகரிக்க, வெளியேறும் நியூட்ரான்களின் விகிதமும் அதிகரிக்கும்.

ஒரு குறிப்பிட்ட கனஅளவை உடைய பலவடிவங்களிலும் மொத்தப் புறப்பரப்பளவு குறைவாக இருப்பது கோள வடிவத்தில்தான். எனவே, கோளவடிவங்கொண்ட அணுஉலைகளுக்கு வேண்டிய மூலப்பொருள்களின் அளவு, மற்றவிதமான வடிவங்களுக்கு வேண்டியதைவிடக் குறைவாக இருக்கும்.

---

1. leakage probability 2. critical mass.

அணுஉலையில் நியூட்ரானின் கிரியைகள்

அணுப்பிளவிலிருந்து வேக நியூட்ரானுக வெளிப்படும் கணத்திலிருந்து, வெப்ப நியூட்ரானுக கிரகிக்கப்படும்வரை ஒரு நியூட்ரானின் வாழ்க்கையில் பலவிதமான நிகழ்ச்சிகள் நடைபெறுகின்றன. இவற்றைச் சிறிது காண்போம்.

முடிவற்ற அளவுடைய அணுஉலை[1]

யுரேனியத்தையும் ஒரு நல்ல தணிப்பானையும் கொண்டமைந்த ஓர் அணுஉலையை எடுத்துக்கொள்வோம். இந்த உலையின் பரிமாணங்கள் முடிவற்றவையாக இருக்கட்டும். இப்போது, உள்ளிருக்கும் நியூட்ரான்களால் வெளியே தப்பிச் செல்லவே முடியாது. இந்த நிலையில் நியூட்ரான்கள் தப்பிச் செல்லாமலிருக்கும் வாய்ப்பை P என்று குறிப்பிடுவோமேயானுல் P-ன் மதிப்பு 1 ஆக இருக்கும். அதாவது,

$$P = 1^{*}$$

I. இந்த வெப்பநியூட்ரானை உலையில் உள்ள ஏதேனும் ஒரு கரு கிரகிக்கலாம். இக்கரு எப்போதும் ஒரு பிளவுபடும் கருவாகத்தான் இருக்கவேண்டும் என்பதில்லை. (அணுஉலையில், பிளவுபடும் பொருள், தணிப்பான் இவற்றைத் தவிர வேறு சில பொருள்களும் இருப்பது உண்டு). அதாவது பிளவுபடும் கருக்களுக்கு இந்த நியூட்ரானை கிரகிக்கக் கிடைக்கும் வாய்ப்பு 1-க்குக் குறைவாகத்தான் இருக்கும். இந்த வாய்ப்பை 'f' என்று குறிப்பிட்டால், கிரகிக்கப்படும் ஒவ்வொரு வெப்ப நியூட்ரானுக்கும், 'f' வெப்ப-நியூட்ரான்களே எரிபொருள் கருக்களால் கிரகிக்கப்படுகின்றன.

II. இயற்கை யுரேனியம் இரண்டுவித யுரேனியக் கருக்களைக் கொண்டது. பத்தாயிரம் இயற்கை யுரேனியக் கருக்களில் 70, யுரேனியம்-235 கருக்களாகவும், மற்றவை யுரேனியம்-238 கருக்களாகவும் இருக்கின்றன. (மிகக் குறைந்த அளவே உள்ள யுரேனியம்-234 கருக்களை நாம் இங்கு பொருட்படுத்த வேண்டியதில்லை.) இவற்றில் யுரேனியம்-238 கருக்களை ஒரு குறிப்பிட்ட சக்திக்கு மேற்பட்ட நியூட்ரான்களால்தான் பிளவுபடுத்த முடியும். ஆனுல் யுரேனியம்-235 கருக்களை எல்லா நியூட்ரான்களும் பிளவுபடுத்த முடியும். (எனினும் வெப்ப நியூட்ரான்களால் ஏற்படுத்தப்படும் பிளவிற்கான முகப்பரப்பு, வேகநியூட்ரான்கள் ஏற்படுத்தும் பிளவிற்கான முகப்பரப்பினைவிட அதிகமாக இருக்கும்.)

---

* வாய்ப்புகளை கணக்கிடும் முறையில், ஒரு காரியம் நடந்தே தீரும் என்ற நிலையை அதற்கான வாய்ப்பின் மதிப்பை 1 எனக் குறிப்பிடுவதன் மூலம் கணிக்கப்படுகிறது. தற்சமயம் உள்ள காரியம் நியூட்ரான் தப்பிச் செல்லாமலிருப்பது.

1. reactor of infinite dimensions

ஒரு வெப்ப நியூட்ரான், யுரேனியம்-235 கருவுடன் மோதும்போது மூன்று நிகழ்ச்சிகள் ஏற்படமுடியும். அவை கீழ்வருமாறு.

(a) பிளவு

யுரேனியம்-235 + நியூட்ரான் ⟶ இரண்டு பிளவு விளைகருக்கள்
+
2·46 வேகநியூட்ரான்கள்
+
பீட்டா, மற்றும் காமாக் கதிர்கள்
+
சுமார் 200 மி. எ. வோ. சக்தி

ஒவ்வோர் அணுப்பிளவிலிருந்தும் வெளிப்படும் நியூட்ரான்களின் சராசரி எண்ணிக்கையை υ (நியூ)[1] என்ற எழுத்தால் குறிப்பிடுவது வழக்கம். இங்கு $\upsilon = 2{\cdot}46$

(b) உட்கவர்தல்[2]

யுரேனியம்-235 + நியூட்ரான் → யுரேனியம்-236
+
காமாக் கதிர்கள்

இக்கிரியையில் அணுப்பிளவு ஏற்படாமலிருப்பது மட்டுமின்றி நியூட்ரானும் நஷ்டமாகிறது.

(c) சிதறல்[3]

இக்கிரியையின் பயனாக நியூட்ரானின் திசை, வேகம் முதலியவை மாறலாம். ஆனால் அது நஷ்டமாவதில்லை.

இவற்றுள் முதலிரண்டு கிரியைகளையும் சேர்த்து 'கிரகித்தல்' என்பர். சாதாரணமாக லேசான அல்லது அணுத்திணிவெண் குறைவான கருக்களை எளிதில் பிளவுபடுத்த முடியாது. இவ்வகை கருக்களில் இரண்டாவது, மூன்ருவது கிரியைகளே நடைபெற முடியும்.

உட்கவரப்படும் நியூட்ரான்களுக்கும், பிளவு நிகழ்த்தும் நியூட்ரான்களுக்கும் உள்ள விகிதத்தை α (ஆல்ஃபா) என்று குறிப்பிடுவது வழக்கம். இதன்படி, கிரகிக்கும் நிகழ்ச்சிகளை எடுத்துக்கொண்டால், யுரேனியம்-235 கருக்களோடு வெப்ப நியூட்ரான்கள் மோதும்போது வெளிப்படும் வேகநியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை $\left(\frac{\upsilon}{1+\alpha}\right)$ என்றிருக்கும் என நிரூபிக்கலாம். இதை 'η' (ஈட்டா)[4] என்று குறிப்பிடுவோம்.

யுரேனியத்தில், யுரேனியம்-235 கருக்கள் மட்டும் இருந்தால் η-வின் மதிப்பு 2·08 ஆகும். (இக்கருக்களில் α-இன் மதிப்பு ஏறக்குறைய 0·2). ஆனால் இயற்கை யுரேனியத்தில் யுரேனியம்-238 கருக்களும் இருப்பதால் ηவின் மதிப்பு 1·34 ஆகக் குறைந்துவிடுகிறது.

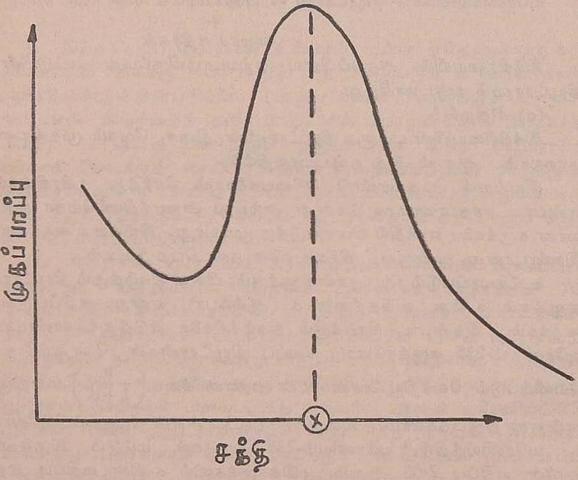
முன்னம் கூறியதுபோல், கிரகிக்கப்படும் ஒவ்வொரு வெப்ப நியூட்ரானுக்கும் 'f' வெப்ப நியூட்ரான்களே யுரேனியக் கருக்களால் கிரகிக்கப்படுவதால், மொத்தத்தில் $(f \times \eta)$ வேகநியூட்ரான்கள் வெளிப்படுகின்றன.

1. nu 2. capture 3. scattering 4. eta

III. அணுப்பிளவுகள், பிரதானமாக வெப்ப நியூட்ரான்களாலேயே ஏற்படுத்தப்பட்டாலும், வேகநியூட்ரான்களாலும் ஒருசில உண்டாக்கப் படுகின்றன. மொத்த அணுப்பிளவுகள் இவ்விருவகை நியூட்ரான் களாலும் ஏற்படுவன ஆகும். மொத்த அணுப்பிளவுகளிலிருந்து வெளிப்படும் நியூட்ரான்களுக்கும், வெப்பநியூட்ரான்களால் ஏற்படுத்தப் படும் அணுப்பிளவுகளிலிருந்து வெளிப்படும் நியூட்ரான்களுக்கும் உள்ள விகிதமே ϵ (எப்ஸிலான்)[1] என்று குறிக்கப்படுகிறது.

இதன்படி, கிரகிக்கப்படும் ஒவ்வொரு வெப்பநியூட்ரானுக்கும், வெளிப்படும் வேகநியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை ($f \times \eta \times \epsilon$) ஆகிறது என்பது தெளிவு.

IV. இயற்கை யுரேனியத்தை எரிபொருளாகக்கொண்டுள்ள அணு உலைகளில் நிகழும் மற்றொரு முக்கியமான நிகழ்ச்சியை இவ்விடம் குறிப்பிடுவோம்.



படம் 4–2. கிரியைப் பெருக்கம் (வரைப்படம்)

பொதுவாக, அணுக்கருக்களுடன் நியூட்ரானுக்குள்ள கிரியைகளுக் கான முகப்பரப்பு நியூட்ரானின் இயங்கு சக்தியைப் பொறுத்திருக்கிறது என்று அறிவோம். சில கருக்கள் சம்பந்தப்பட்டமட்டில், நியூட்ரான்

1. epsilon

ஒரு குறிப்பிட்ட வேகம் கொண்டிருந்தால், இந்த நியூட்ரான் குறிப்பிட்ட கருவுடன் நிகழ்த்தும் கிரியையின் முகப்பரப்பு பன்மடங்கு பெருகுகிறது. இதை, கிரியைப் பெருக்கம்[1] என்று கூறுவர். இந்நிகழ்ச்சியை படம் 4-2 விளக்குகிறது.

யுரேனியம்-238 கருக்களோடு நிகழும் உட்கவர்தல் கிரியைகளில், நியூட்ரான்களின் சக்தி ஏறக்குறைய 1 எ. வோ. ஆக இருக்கும்போது இவ்விதமான கிரியைப் பெருக்கம் நிகழ்கிறது.

அணுப் பிளவுகளிலிருந்து வெளிப்படும் வேகநியூட்ரான்களின் இயங்குசக்தி படிப்படியாகத்தான் தணிப்பான்களால் குறைக்கப்படுகிறது. இடைநிலை சக்திகளையுடைய நியூட்ரான்களின் வேகம் முழுவதும் குறைக்கப்படும் முன்னர், அவை யுரேனியம்-238 கருக்களுக்கு அருகில் இருக்க நேரிடலாம். அப்போது இவற்றின் வேகம் கிரியைப் பெருக்கம் ஏற்படுத்தத் தகுதி உள்ளதாக இருந்தால் அவை யுரேனியம் —238 கருக்களால் மிகவும் உக்கிரமாக உட்கவரப்படுகின்றன.

இப்போது, ஒரு வேக நியூட்ரான், யுரேனியம்-238 கருக்களின் கிரியைப் பெருக்கத்திலிருந்து தப்பி, (தணிப்பான் கருக்களால்) வெப்ப நியூட்ரானாக மாற்றப்படுவதாக இருக்கட்டும். இதற்கான வாய்ப்பை கிரியைப் பெருக்கத்திலிருந்து தப்பும் வாய்ப்பு[2] என்று கூறுவர். இதை p என்று குறிப்பிடுவோம்.

ஆக, கிரகிக்கப்படும் ஒவ்வொரு வெப்ப நியூட்ரானுக்கும் முடிவாக உற்பத்தியாகும் வெப்ப நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை $(f \times \eta \times \epsilon \times p)$ என்றாகிறது.

மேலே கூறியவைகளிலிருந்து அணுஉலையிலுள்ள ஒரு நியூட்ரானின் வாழ்க்கையைப்பற்றிய சில உண்மைகள் புலனாகின்றன.

ஒரு தலைமுறையின்[3*] ஆரம்பத்தில் உள்ள வெப்பநியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை தலைமுறையின் முடிவில் K மடங்கு ஆகிறது என்றால்

$$K = \eta \times \epsilon \times p \times f$$

இதையே நாற்காரணிச் சூத்திரம்[4] என்பர். இந்த எண்ணிக்கையை (K-ஐ) முடிவற்ற அளவுடைய உலையின் பெருக்கிலக்கம்[5] என்று

---

* சாதாரணமாக, ஒருவரை ஒரு தலைமுறையினர் என்றும், அவரது பிள்ளை, பெண்களாகிய அடுத்த சந்ததியினரை அடுத்த தலைமுறையைச் சேர்ந்தவர்கள் என்றும் குறிப்பிடுவது உண்டல்லவா? இதுபோலவே, அணுஉலையில் அணுப்பிளவிலிருந்து வெளிப்படும் நியூட்ரான்களையும், இந்த நியூட்ரான்கள் பின்னும் உண்டாக்கும் அணுப்பிளவுகளிலிருந்து வெளிப்படும் நியூட்ரான்களையும், அடுத்தடுத்த 'தலைமுறை'யைச் சேர்ந்தவை என்று குறிப்பிடும் வழக்கம் இருந்து வருகிறது.

நியூட்ரான்கள் வெளிப்படும் கணத்திலிருந்து கிரகிக்கப்படும் கணம்வரை உள்ள (சராசரி) கால இடைவெளியை ஒரு தலைமுறைக்காலம் என்று கூறுகிறார்கள்.

1. resonance reaction 2. resonance escape probability 3. generation 4. four factor formula 5. infinite multiplication factor.

கூறுகிறுர்கள். இதில் அடங்கியுள்ள நான்கு விகிதங்களின் மதிப்பும், பொதுவாக, உலேயிலுள்ள பல்வேறு வகைப்பட்ட பொருள்கள், பிளவுபடும் கருக்களின் தன்மை, தணிப்பானின் குணங்கள் மற்றும் யுரேனியம்-238 (அல்லது அதுபோல் குணங்களே உடைய) கருக்களின் அளவு முதலியவற்றைப் பொறுத்திருக்கின்றன.

அணுஉலேயில் நியூட்ரான் பங்கெடுத்துக்கொள்ளும் சில கிரியை களின் அடிப்படை உண்மைகளேச் செவ்வனே அறிந்து கொள்ள ஒரு முடிவற்ற அளவுடைய அணுஉலேயைக் கற்பனே செய்தோம். இனி வழக்கத்தில் இருக்கும், குறிப்பிட்ட அளவுகளே உடைய அணுஉலே யைப்பற்றி அறிவோம்.

முடிவுடைய அளவுள்ள அணுஉலே[1]

முடிவுள்ள அளவுடைய ஓர் அணுஉலேயில் மேலே சொன்ன நான்கு விகிதங்களும் மாறுபடா. ஆனுல் P-இன் மதிப்பு (அதாவது வெளியே நியூட்ரான்கள் தப்பிச் செல்லாமல் இருப்பதற்குரிய வாய்ப்பு), 1க்குக் குறைந்துவிடுகிறது. அதனுல் உலேயின் பெருக்கிலக்கமும் K யிலிருந்து k-ஆகக் குறைந்துவிடுகிறது.

$$k = \eta \times \epsilon \times p \times f \times P$$

k-ஐ உலேயின் நிகரப் பெருக்கிலக்கம்[2] என்று கூறுகிறுர்கள்.

நடைமுறையில் P என்ற வாய்ப்பை இரு பகுதிகளாகப் பிரிக்க லாம். அவையாவன :

(a) பிளவுகளிலிருந்து வெளிப்படும் வேகநியூட்ரான்கள் தங்கள் வேகம் தணிக்கப்படும் முன்னர் உலேயிலிருந்து தப்பிச் செல்லாமலிருப் பதற்குரிய வாய்ப்பு. இதை P_f என்று குறிப்பிடுவோம்.

(b) வேகம் தணிக்கப்பட்ட பிறகும் மேலும் பிளவுகள் ஏற்படுத்து வதற்கும் முன்னர் வெப்ப நியூட்ரான்கள் உலேயிலிருந்து தப்பிச் செல்லாமலிருப்பதற்குரிய வாய்ப்பு. இதை P_s என்று குறிப்பிடுவோம்.

இவற்றில் P_f என்பது (i) உலேயின் பரிமாணம் (ii) வேகநியூட்ரா ஞகப் பிறக்கும் கணத்திலிருந்து தணிப்பான் கருக்களால் வெப்பநியூட் ராஞக வேகம் குறைக்கப்படும் வரை உலேயில் ஒரு நியூட்ரான் நடமாடும் தூரம் இவற்றைப் பொறுத்து உள்ளது.

அதேமாதிரி P_s என்பது (i) உலேயின் பரிமாணம் (ii) வெப்ப நியூட்ராஞக மாற்றப்பட்ட கணத்திலிருந்து அணுஉலேக் கருக்களால் கிரகிக்கப்படும் கணம்வரை உலேயில் ஒரு நியூட்ரான் நடமாடும் சராசரி தூரத்தின் அளவு இவற்றைப் பொறுத்துள்ளது.

---

1. reactor of finite dimensions
2. effective multiplication factor.

வரம்புநிலை எண்[1]

ஓர் உலையின் நிகரப் பெருக்கிலக்கமான ‘ k ’ஐ வரம்புநிலை எண் அல்லது வளர்ச்சி எண் என்றும் குறிப்பிடுவர். சுருக்கமாகக் கூறினால், இந்த எண்ணானது, ஒரு தலைமுறையில் பிறந்த நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக்கும் அதற்கு முந்திய தலைமுறையில் பிறந்த நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக்கும் உள்ள விகிதம் ஆகும்.

உதாரணமாக வளர்ச்சி எண் 1·1 ஆனால் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை கீழ்வருமாறு வளரும்.

முதல் தலைமுறையில் உள்ள நியூட்ரான்கள்	= 1000 (என்க)
இரண்டாம் தலைமுறை நியூட்ரான்கள்	= 1000 × 1·1 = 1100
மூன்றாம் தலைமுறை நியூட்ரான்கள்	= 1100 × 1·1 = 1210
நான்காம் தலைமுறை நியூட்ரான்கள்	= 1210 × 1·1 = 1331

இங்ஙனம் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை வளர்ச்சியடைகிறது. ஒரு நூறு தலை முறைகளில் சுமார் 1·4 கோடியாக வளரும். அணு உலைகளில் சுமார் ஆயிரம் தலைமுறைகள் பிறந்து மறைவதற்கு 1 செகண்டு காலமே ஆகிறது. அதனால் நியூட்ரான்கள் ஒரு செகண்டில் 1000த்திலிருந்து கோடானு கோடி நியூட்ரான்களாகப் பெருகுகின்றன.

வரம்புநிலை எண் 0·9 என்றால், நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை கீழ்வருமாறு மாறுபடும்.

முதல் தலைமுறையில் உள்ள நியூட்ரான்கள்	= 1000 (என்க)
இரண்டாம் தலைமுறை நியூட்ரான்கள்	= 1000 × 0·9 = 900
மூன்றாம் தலைமுறை நியூட்ரான்கள்	= 900 × 0·9 = 810
நான்காம் தலைமுறை நியூட்ரான்கள்	= 810 × 0·9 = 729

இதேமாதிரி 65 தலைமுறைகளில் சுமார் 1 நியூட்ரானாகக் குறைந்துவிடுகிறது. அதாவது 1 செகண்டின் பத்தில் ஒரு பாகத்திற்குள்ளாகவே நியூட்ரான்கள் எல்லாம் மறைந்துவிடுகின்றன.

வரம்புநிலை எண்ணின் மதிப்பு 1 ஆனால் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை மாறுபடாமல் நிலைத்த எண்ணாக இருக்கிறது. உலையில் k-இன் மதிப்பு சரியாக 1-ஆக இருக்குமேயானால் உலையினுள்ளே நிகழும் தொடர்கிரியையும் சக்தி வெளிப்பாடும் ஒரே சீர்நிலையில் நடந்துகொண்டிருக்கும். அதனால் $k=1$ என்பது வரம்புநிலையைக் குறிக்கும். இதற்கான உலையின் பரிமாணங்கள் வரம்புநிலைப் பரிமாணங்களாக இருக்கின்றன.

உலையின் பரிமாணம் வரம்புநிலைப் பரிமாணத்தைவிடக் குறைவாக இருக்கும்போது, உலையிலிருந்து வெளியேறும் நியூட்ரான்களின் விகிதம் வரம்புநிலை கன அளவிலுள்ளதைவிடக் கூடுதலாக இருப்பதால், k-இன் மதிப்பு 1-க்குக் குறைவாக இருக்கும். அதனால் உலையில்

---

1. criticality factor.

நியூட்ரான்கள் எண்ணிக்கை குறைந்துகொண்டே போய் தொடர் கிரியை தடைப்படுகிறது. இதை வரம்புநிலைக்கு அடங்கியநிலை[1] என்று அழைப்பர்.

உலையின் பரிமாணம் வரம்புநிலைப் பரிமாணத்தைவிடக் கூடுதலாக இருந்தால், உலையிலிருந்து வெளியேறும் நியூட்ரான்களின் விகிதம் வரம்புநிலையிலுள்ளதைவிடக் குறைந்துவிடுகிறது. இப்போது k-இன் மதிப்பு 1-க்கு மேற்படுவதால், உலையில் உள்ள நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை அதிகமாகிக்கொண்டே போகும். இதனால் பிளவுக்கிரியை வீதம் வினாடிக்கு வினாடி கூடிக்கொண்டே போகும். இதை வரம்பு மீறியநிலை[2] என்று கூறுவார்கள்.

வரம்புநிலையிலிருக்கும் ஓர் அணுஉலையில் வெப்ப நியூட்ரானின் தலைமுறை படம் 4-3-இல் விளக்கப்பட்டிருக்கிறது. தலைமுறை ஆரம்பத்தில் 1000 வெப்ப நியூட்ரான்கள் உள்ளதாக வைக்கப்பட்டுள்ளது. இதற்காக,

$$\eta = 1{\cdot}34 \qquad f = 0{\cdot}95$$
$$p = 0{\cdot}90 \qquad \epsilon = 1{\cdot}03$$
$$P_f = 0{\cdot}90 \qquad P_s = 0{\cdot}84$$

என்றும் எடுத்துக்கொள்ளப்பட்டிருக்கின்றன.

ரியாக்டிவிடி[3]

ஓர் அணுஉலையில் உள்ள நியூட்ரான்களின் தொகை காலக்கிரமத்தில் எவ்வாறு வேறுபாடு அடைகிறது என்பதைக் கணக்கிட, ஒரு தலைமுறையில் உள்ள நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக்கும், அடுத்த தலைமுறையிலுள்ள எண்ணிக்கைக்கும் உள்ள வேறுபாட்டைத் தெரிந்துகொள்ளுதல் அவசியம்.

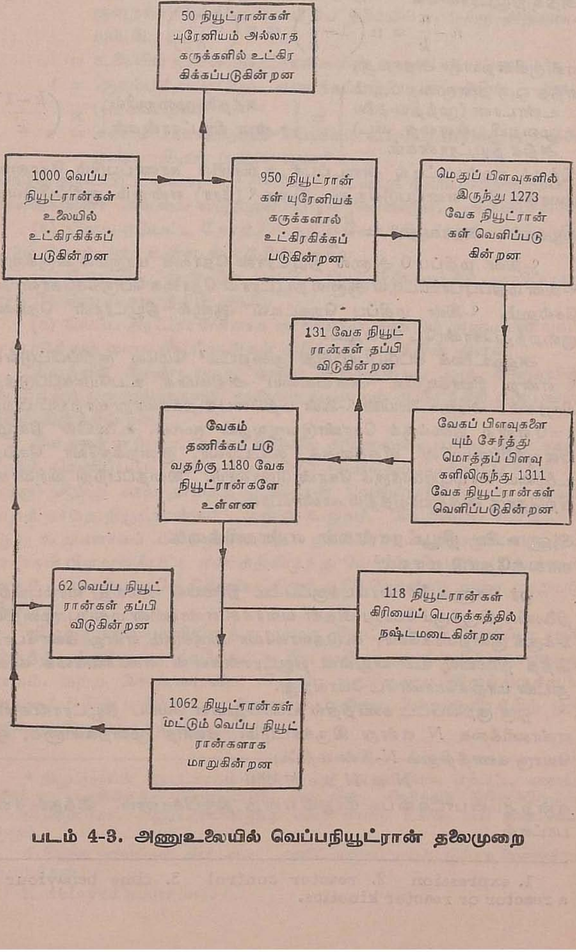
ஒவ்வொரு தலைமுறையிலுமுள்ள நியூட்ரான்களின் தொகை முந்திய தலைமுறையிலுள்ள எண்ணிக்கையைப்போல k மடங்கு ஆகிறது என்று அறிவோம். அதாவது 'தொடக்கத்திலிருந்து நியூட்ரான்களின் தொகை, உலையில்

$$1,\ k,\ k^2,\ k^3 \ldots\ldots$$

என்ற விகிதத்தில் தலைமுறைக்குத் தலைமுறை மாறிக்கொண்டே போகிறது.

ஏதாவதொரு கணத்திலுள்ள நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை 'n' என்று கூறுவோம். இதற்கு முந்திய தலைமுறையில் $\left(\frac{n}{k}\right)$ நியூட்

1. subcritical state
2. supercritical state
3. reactivity



படம் 4-3. அணுஉலையில் வெப்பநியூட்ரான் தலைமுறை

ரான்கள் இருந்திருக்கவேண்டும். ஆக, இத்தலைமுறையில் உண்டான அதிக நியூட்ரான்கள்

$$n-\frac{n}{k} = n\left(1-\frac{1}{k}\right) = n\left(\frac{k-1}{k}\right)$$

என்றுகின்றன. அதாவது,

$$\left.\begin{array}{l}\text{எந்த ஒரு தலைமுறையிலும்}\\ \quad\text{உண்டான (முந்திய தலை}\\ \quad\text{முறையிலுள்ளதை விட)}\\ \quad\text{அதிக நியூட்ரான்கள்}\end{array}\right\} = \left\{\begin{array}{c}\text{அத்தலைமுறையில்}\\ \text{உள்ள நியூட்ரான்கள்}\end{array}\right\} \times \left(\frac{k-1}{k}\right)$$

இந்தச் சமன்பாட்டில் அடைப்புக் குறிகளில் காணப்படும் கோவை[1] ரியாக்டிவிடி எனப்படுகிறது. இதை ρ (ரோ) என்றும் குறிப்பிடுவது வழக்கம். அதாவது $\rho = \frac{k-1}{k}$

ρ-இன் மதிப்பு 0 ஆனால் நியூட்ரான் தொகை மாறாமல் இருக்கும். ρ-இன் மதிப்பு பாஸிட்டிவ் ஆனால் நியூட்ரான் தொகை பெருகிக்கொண்டே செல்லும். ρ-இன் மதிப்பு நெகட்டிவ் ஆனால் நியூட்ரான் தொகை குறைந்துகொண்டே செல்லும்.

அணுஉலைக் கட்டுப்பாட்டுத் துறையில்[2] மேலே குறிப்பிட்டுள்ள ρ என்ற ரியாக்டிவிடி அளவையை அதிகமாக உபயோகப்படுத்துகிறார்கள். அணுஉலையின் ρ-இன் மதிப்பைத் தக்கவாறு மாற்றிப் பிறகு $\rho=0$ என்ற நிலைக்குக் கொண்டுவருவதன் மூலம், உலையில் நிகழும் பிளவுக்கிரியையின் வீதத்தைக் கூட்டவோ, குறைக்கவோ செய்து உலையை வரம்புநிலைக்குக் கொண்டுவரலாம். இதைப்பற்றி விரிவாகப் பிறிதொரு அத்தியாயத்தில் காண்போம்.

அணுஉலை நியூட்ரான்கள் எண்ணிக்கை காலத்தோடு மாறல்[3]

ஓர் அணுஉலை வரம்புக்குட்பட்ட நிலையில் அல்லது வரம்புமீறிய நிலையில் இருக்கும்போது அதன் வளர்ச்சி எண்ணின் மதிப்பு முறையே 1-க்குக் குறைவாகவோ, கூடுதலாகவோ இருக்கும் என்று கண்டோம். இந்த நிலையில் உலையிலுள்ள நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை காலத்துடன் மாறிக்கொண்டே போகிறது.

ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் உலையிலுள்ள வெப்ப நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை N என்று இருக்கட்டும். கணித முறைகளினால், ஒவ்வொரு கணத்திலும் N-இன் மதிப்பு

$$N = N_{\circ} \times e^{(k-1)\times t/l}$$

என்ற சமன்பாட்டின்படி மாறும் என்று நிரூபிக்கலாம். இந்தச் சமன்பாட்டில்

1. expression 2. reactor control 3. time behaviour of a reactor or reactor kinetics.

N_0 = ஆரம்பத்திலுள்ள நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை
k = உலையின் வரம்பு எண் (வரம்புக்குட்பட்ட நிலையில் k, 1-க்குக் குறைவாகவும், வரம்பு மீறிய நிலையில் k, 1-க்கு அதிகமாக வும் இருக்கும்)
l = உலையில் உள்ள நியூட்ரான்களின் சராசரி ஆயுட்காலம்*
t = ஆரம்பத்திலிருந்து கணிக்கப்பட்ட காலத்தின் அளவு (செகண்டுகள்)
e = கணித சாஸ்திரத்தில் அடிக்கடி உபயோகமாகும் ஒரு நிலை எண். இதன் மதிப்பு சுமார் 2·72

மேலே குறிப்பிட்டவைகளில் 'l'-இன் மதிப்பைக் கணிப்பதற்கு மூன்று காலங்களின்† அளவை எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். அவையாவன:

(a) பிளவு ஏற்பட்ட நேரத்திலிருந்து வேக நியூட்ரான்கள் வெளிப் படும் நேரம்வரை உள்ள காலத்தின் அளவு

(b) வேக நியூட்ரான்களை வெப்ப நியூட்ரான்களாகத் தணிப்பதற் காக வேண்டிய காலத்தின் அளவு

(c) வெப்ப நியூட்ரான்களாக மாறியபின் மீண்டும் அணுப்பிளவுகள் ஏற்படுத்தும் வரை நியூட்ரான்கள் கழிக்கும் காலத்தின் அளவு.

இவற்றில் இரண்டாவது காலம் ஏறக்குறைய ஒரு விநாடியின் லட்சத்தில் ஒரு பங்காகவும், மூன்ருவது காலம் ஆயிரத்தில் ஒரு பங்கா கவும் இருக்கின்றன.

பிளவுகள் ஏற்பட்ட கணத்திலேயே அனேகமாக எல்லா நியூட்ரான் களும் வெளிப்பட்டாலும், சுமார் 0·75 சதவிகிதம் (பத்தாயிரத்தில் 75 பங்கு) சிறிது கால தாமதத்துடன்தான் வெளிப்படுகின்றன. இவற் றைத் தாமத நியூட்ரான்கள்[1] என்று கூறுவர். இவற்றைப் பொதுவாக ஆறு கூறுகளாகப் பிரித்துள்ளனர். ஒவ்வொரு கூறிலுமுள்ள நியூட் ரான்கள் பிளவு ஏற்பட்ட கணத்திலிருந்து வெளிப்படுவதற்கு வேண்டிய காலம் சராசரியாக 0·6 செகண்டிலிருந்து 80 செகண்டு வரை மாறுபடு கின்றது.

பிளவுக் கிரியைகளிலிருந்து தாமத நியூட்ரான்கள் வெளிப்படாமல் இருந்திருக்குமேயானுல், மேலே கூறிய மூன்று காலங்களில் முதலாவது காலம், மற்ற இரண்டைவிட மிகவும் குறுகியதாக இருந்திருக்கும். அதனுல் l-இன் மதிப்பு, ஏறக்குறைய, 1 விநாடியின் ஆயிரத்தில் ஒரு பங்காக இருப்பதைக் காணலாம்.

---

* நியூட்ரானின் ஆயுட்காலம் என்பது ஓர் அணுப்பிளவு ஏற்பட்ட கணத்தி லிருந்து, அதிலிருந்து வெளிப்படும் நியூட்ரான், கிரகித்தல் கிரியையினுலோ தப்பிவிடுவதாலோ, அணுஉலையிலிருந்து மறையும்வரை உள்ள கால இடைவெளி ஆகும்.

† இந்தக் காலங்கள் கிராஃபைட் தணிப்பானுகப் பயன்படும் உலைகளுக்குப் பொருந்தும்.

1. delayed neutrons.

இப்போது ஓர் உதாரணத்தைக் கவனிப்போம்.

$k = 1{\cdot}0023$ $\quad l = 0{\cdot}001$ செகண்டுகள்

$N_o = 100$ $\quad t = 1$ செகண்டு என்றால்

1 செகண்டிற்குப் பிறகு N-இன் மதிப்பு

$$N = 100 \times e^{(0{\cdot}0023 \times 1)/0{\cdot}001} = 100 \times 10 = 1000$$

அதாவது, ஒவ்வொரு செகண்டிலும், நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை பத்து மடங்காகப் பெருகுகிறது.

ஆனால், சில நியூட்ரான்கள் தாமதமாகவே வெளிப்படும் ஆதலால், முதலாவது காலத்தின் மதிப்பு ஏறக்குறைய ஒரு செகண்டின் பத்தில் ஒரு பங்காக உயர்கிறது. (இது மேலே குறிப்பிட்ட 'l' இன் மதிப்பைப்போல் 100 மடங்கு). அதனால் l-இன் மதிப்பும் ஏறக்குறைய 0·1 செகண்டு என்றாகிறது. இந்த நிலையில் 1 செகண்டிற்குப் பிறகு உலையில் உள்ள நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை,

$$N = 100 \times e^{0{\cdot}0023 \times 1/0{\cdot}1} = 100 \times 1{\cdot}023$$
$$= 102{\cdot}3$$

என்று காணலாம்.

எனவே உலையில் உள்ள நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை பத்து மடங்காவதற்கு சுமார் 100 செகண்டுகள் தேவைப்படுகின்றன!

இந்த உதாரணத்திலிருந்து, அணுஉலைகளைக் கட்டுப்படுத்தக் கிடைக்கும் காலத்தின் அளவு, தாமத நியூட்ரான்களால் நிர்ணயிக்கப் படுகின்றதென்பது கண்கூடு. தாமத நியூட்ரான்கள் மட்டும் இல்லாதிருந்தால் வரம்பு மீறிய நிலைக்குச் சென்றுவிட்ட ஓர் அணுஉலையைக் கட்டுப்படுத்துவதென்பது அநேகமாக இயலாத காரியங்களில் ஒன்றாகி விடும்.

அணுஉலைக் காலம்[1]

ஓர் அணுஉலையில் உள்ள நியூட்ரான்களின் தொகை e (அல்லது 2·72) மடங்காவதற்கு ஆகும் கால இடைவெளியே அணு உலைக்காலம் எனப்படும். முன் கூறிய,

$$N = N_o e^{(k-1)t/l}$$

என்ற சமன்பாட்டில் $t = \dfrac{l}{k-1}$ என்று பிரதியிட்டால்,

$$N = N_o e$$

எனத் தெரிகிறது. ஆக, $l/(k-1)$ என்ற அளவையே அணுஉலைக் காலம் ஆகிறது. இதை T என்ற எழுத்தால் குறிப்பிடுவது வழக்கம். T மதிப்பு கொண்ட ஒவ்வொரு கால இடைவெளியிலும் நியூட்ரான்

1. reactor period.

தொகை 'e' மடங்காகிறது. T-இன் மதிப்பு குறையக் குறைய, நியூட்ரான் தொகை பெருகும் வீதமும் அதிகரிக்கும். ஆதலால், T-இன் மதிப்பை ஒரு குறிப்பிட்ட அளவிற்குக் கீழ்ப்படாமல் கட்டுப்படுத்த வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது. இதைப்பற்றி "அணுஉலை–கட்டுப்பாடு" என்ற அத்தியாயத்தில் காண்போம்.

அணு உலைகளைக் கட்டுப்படுத்தும் விதங்கள்[1]

ஒரே சீரான நிலையில் தொடர்கிரியை நடைபெறுவதற்கு வரம்புநிலை எண்ணுன k-இன் மதிப்பு 1-ஆக இருக்கவேண்டும் என்று கூறினேம். ஆனல் உலையின் பரிமாணங்கள் k-இன் மதிப்பு சரியாக 1-ஆக இருக்கும்படி இருந்தால் அந்த உலையை வெகு காலம் வரம்பு நிலையில் வைத்திருக்க இயலாது. இதன் காரணங்கள் கீழ்வருமாறு :—

(a) உலையினுள்ளே நிகழும் பிளவுகளின் வீதத்திற்குத் தக்கபடி உலையிலிருந்து வெளிப்படும் திறன் கூடுதலாகவோ, குறைவாகவோ இருக்கிறது. திறன் எந்த அளவினதாயிருந்தாலும் சரி, அது மாருமலிருக்க வேண்டுமானுல், ரியாக்டிவிடியின் (ρ-இன்) மதிப்பு பூஜ்யமாக இருக்கவேண்டும் என்று கண்டோம். ஆனல் நாட்கள் செல்லச் செல்ல உலையினுள்ளே இருக்கும் பிளவுபடும் கருக்களின் எண்ணிக்கை குறைந்துகொண்டே போகிறது. உலையின் வளர்ச்சி எண், பிளவுபடும் கருக்களின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்திருப்பதால், அவை குறையும் போது வளர்ச்சி எண்ணின் மதிப்பும் குறைகிறது. இதனுல் ரியாக்டிவிடி பூஜ்யத்திலிருந்து நெகட்டிவாக மாறுவதால் உலை வரம்புக்குட்பட்ட நிலைக்குச் செல்லத் தலைப்படும்.

மேலே குறிப்பிட்டுள்ள நிகழ்ச்சி எல்லாவித உலைகளிலும் நிகழும் பொதுவானது ஒன்று ஆனுலும், செழிப்பூட்டப்பட்டுள்ள[2] யுரேனியத்தை எரிபொருளாகக் கொண்டுள்ள உலைகளில் முக்கியமானது.

(b) ஒவ்வோர் அணுப்பிளவின் விளைவாகப் பற்பல விளைவுபொருள்களும், இவற்றின் கதிரியக்கச் சிதைவால் மற்ற புதிய பொருள்களும் உண்டாகின்றன. இவற்றிற் சில, நியூட்ரான்களை அதிகமாக கிரகிக்கும் தன்மை வாய்ந்தவை. (இவற்றிலும் கிரியைப் பெருக்கம் நிகழ்கிறது.) பிளவுபடும் கருக்களின் எண்ணிக்கை குறையும்போது இவ்விதமான பிளவு விளைபொருள்களுடைய கருக்களின் எண்ணிக்கை கூடும். இவ்வகைக் கருக்களில் ஜெனன்–135[3] ஸமேரியம்–149[4] போன்றவை மிகவும் உக்கிரமாக நியூட்ரான்களை கிரகிக்க வல்லவை. இக்கருக்கள் நியூட்ரான்களைக் கிரகிப்பதில் பிளவுபடும் கருக்களுடன் போட்டியிடத் தலைப்படுவதால், உலையின் வளர்ச்சி எண் குறைகிறது. இதனுல் ரியாக்டிவிடியும் குறைகிறது.

---

1. methods of reactor control 2. enriched
3. xenon-135 4. samarium-149.

இத்தன்மையுடைய பிளவு விளைபொருள்களை 'உலையின் நச்சுப் பொருள்கள்'[1] எனக் கூறுவர்.

(c) உலை அதிகமாக சக்தியை வெளிப்படுத்தும்போது உலையில் உபயோகிக்கப்படும் எல்லாப் பொருள்களின் உஷ்ணநிலையும், பொதுவாக, உயர்கிறது. தணிப்பான் கருக்கள் நியூட்ரான்களுடன் நிகழ்த்தும் கிரியைகளின் தன்மை உஷ்ணநிலையுடன் மாறுபடுகிறது. இதனால், தணிப்பான் அதிக உஷ்ணநிலையில் இருக்கும்போது தணிக்கப்படும் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை, அது குறைந்த உஷ்ணநிலையிலிருக்கும்போது தணிக்கப்படும் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைவிடக் குறைந்ததாக இருக்கும்.

இந்த நிகழ்ச்சியும், நேர்முகமாக உலையின் ரியாக்டிவிடியைக் குறைக்க ஏதுவாகின்றது.

மேலே கொடுத்துள்ளவற்றைத் தவிர நடைமுறையில் வேறு பல காரணங்களும் சேர்ந்து உலையின் ரியாக்டிவிடியைக் குறைக்கும். இதைத் தவிர்ப்பதற்காக, வரம்புநிலையில் அணுஉலையை வைத்திருப்பதற்குத் தேவையான எரிபொருளைவிட அதிகமாகவே எரிபொருள் முதலில் இடப்படுகிறது.

ஆனால், தேவைக்கு அதிகமான எரிபொருளை உலையில் இடுவதன் மூலம் அதன் வரம்புநிலை எண் முதலில் ஒன்றுக்கு மேலாகிவிடுமல்லவா? அதனால் இதைக் கட்டுப்படுத்த, கட்டுப்பாட்டுக் கோல்களை[2] உபயோகிக்கின்றனர். இவை, பொதுவாக வெப்ப நியூட்ரான்களை அதிகமாக கிரகிக்கும் பொருள்களால் செய்யப்பட்டவை.

முதன் முதலில் வரம்பு நிலையை அடையும்போது இந்தக் கட்டுப்பாட்டுக் கோல்கள் உலையினுள்ளே ஆழமாகச் செருகப்படுகின்றன. இந்த ஆழத்தின் அளவு, உலை வரம்புநிலையை எய்துவதற்குத் தகுந்தவாறு இருக்கும். நாள் செல்லச்செல்ல, வரம்புநிலை எண்ணின் மதிப்பு 1-க்குக் குறையும்போது, இக்கோல்களை உலையிலிருந்து தகுந்த அளவிற்கு வெளியே இழுக்கிறார்கள். இதன் மூலம் உலை எப்போதும் வரம்புநிலையில் வைத்திருக்கப்படுகிறது. அதாவது, கட்டுப்பாட்டுக் கோல்களால் கிரகிக்கப்படும் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைக் குறைக்க முடிவதால், அணுப்பிளவுகளுக்கு வேண்டிய நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையை அதிகரித்து, உலையின் வரம்புநிலை எண்ணை எப்போதும் 1-ஆக வைத்திருக்க முடிகிறது.

போரான்[3], காட்மியம்[4] முதலிய பொருள்கள் கட்டுப்பாட்டுக் கோல்களை அமைக்க உதவும் பொருள்களில் முக்கியமானவை.

கட்டுப்பாட்டு வழிகளில் முக்கியமான மற்றொரு முறை உலையிலிருந்து வெளியேறும் நியூட்ரான்களின் விகிதத்தை மாற்றுவதை

---

1. reactor poisons　　2. control rods
3. boron　　4. cadmium.

அடிப்படையாகக் கொண்டது. உலையின் அளவு, வரம்புநிலை கன அளவைவிட அதிகமாக இருக்கும்போது, உலையின் ரியாக்டிவிடி பாஸிட்டிவாக இருக்கும் என்பதைக் கண்டோம். உலையின் ரியாக்டிவிடி, சூழ்நிலையில் ஏற்படும் மாற்றங்கள் காரணமாக, நெகட்டிவாக மாற்றப் படும்போது, உலையின் அளவு முதலில் இருந்த அளவைவிடக் கூடுத லாக மாற்றப்படுவதாக இருக்கட்டும். இதனால் உலையிலிருந்து வெளி யேறும் நியூட்ரான்களின் விகிதம் வரம்புநிலை அளவில் உள்ளதைவிடக் குறைவாக இருக்கும். (அதாவது, உலையின் கனஅளவு கூடுவதால், உலையில் உபயோகமாகும் நியூட்ரான்களின் விகிதம் கூடும்). விளைவாக, ரியாக்டிவிடியும் உயர்ந்து உலை, மறுபடியும் வரம்புநிலை யடையக் காரணமாகிறது.

இவ்வித முறை பெரும்பாலும் கனநீரைத் தணிப்பானாக உபயோகப் படுத்தும் உலைகளில் கையாளப்படுகிறது. இதை வெளியேறு விகிதக் கட்டுப்பாடு [1] என்று அழைக்கின்றனர்.

எதிரனுப்பி [2]

முடிவுள்ள அளவுகளையுடைய ஓர் அணுஉலையின் வளர்ச்சி எண்ணும், அதனால் வரம்பு நிலைக்குத் தேவையான எரிபொருளின் அளவும் உலையிலிருந்து வெளியேறும் நியூட்ரான்களின் விகிதத்தைப் பொறுத்திருக்கின்றன என்று கண்டோம். ஏதாவது ஒரு வழியில் இந்த நியூட்ரான்களைத் திருப்பி உலைக்குள் அனுப்ப முடிந்தால் வரம்பு நிலைக்கு வேண்டிய பரிமாணங்களைக் குறைக்கமுடியும். அதனால் தேவைப்படும் எரிபொருளின் அளவும் குறையும். உள்ளகத்திலிருந்து வெளியேறும் நியூட்ரான்களை உள்ளகத்திற்கே திருப்புவதற்காகப் பயன்படும் பொருளைத்தான் எதிரனுப்பி என்கிறார்கள். சிதறல் கிரியை மூலம் இப்பொருள்களின் கருக்கள் உள்ளகத்திலிருந்து வெளிப் படும் நியூட்ரான்களில் ஒரு கணிசமான பகுதியைத் திருப்பி உள்ளகத்தினுள்ளே அனுப்புகின்றன. எனவே, நஷ்டமாகியிருக்கக் கூடிய பல நியூட்ரான்கள் உள்ளகத்திற்குத் திரும்பவும் கிடைக்குமாறு செய்கின்றன.

அதிக தணிக்குந்திறமை கொண்ட பொருள்கள் நல்ல எதிரனுப்பி களாக பயன்படத் தக்கவை. ஆகவே, கிராஃபைட், நீர், பெரில்லியம் முதலியவை எதிரனுப்பிகளாக உபயோகப்படுத்தப் படுகின்றன.

தடுப்பு [3]

உலைகளில் அணுக் கருக்கிரியைகள் நிகழும்போது ஏராளமான சக்தியுடன் பலவகையான அணுத் துகள்களும், காமாக் கதிர்களும் வெளிப்படுகின்றன. (இவற்றை மொத்தமாக அணுக்கதிர்கள் [4] எனலாம்).

---

1. leakage control
2. reflector
3. shield
4. atomic radiations.

இவை மனிதருக்குப் பெரும் தீங்கு விளைவிக்கக்கூடியவை. அதனால் அணு நிலையங்களில் வேலை செய்யும் மனிதர்களை இந்த அபாயகரமான கதிர்களிலிருந்து பாதுகாப்பதற்குத் தடுப்புகளை உபயோகிக்கின்றனர். அணுஉலை தகுந்த பொருள்களாலான தடுப்புகளால் சூழப்படும்போது, அணுக்கதிர்கள் இப்பொருள்களுடன் (இவற்றை தடுப்பான்கள்[1] என்று அழைப்பர்) கிரியை செய்து, சக்தியை இழக்கின்றன. சில கிரகிக்கப்படுகின்றன.

கான்கிரீட், எஃகு, காரீயம் முதலியவை தடுப்பான்களில் குறிப்பிடத் தக்கவை. சில உலைகளில் நீரும் தடுப்பானகப் பயன்படுகிறது. தீங்கு விளைவிக்கும் அணுக் கதிர்களினின்று தற்காத்துக்கொள்ளும் பொருட்டுப் பயன்படுத்தப்படும் தடுப்பை அணுஉலைகளில் **தற்காப்புத் தடுப்பு**[2] என்பர்.

அணுஉலை வகைகள்

பௌதிக அடிப்படையில் அணுஉலைகளைப் பலவாறு பிரிக்கலாம். உலை அமைப்பில் பயன்படுத்தப்படும் எரிபொருளின் தன்மை, தொடர் கிரியையில் ஈடுபடும் நியூட்ரான்களின் சராசரி வேகம், உலையின் முக்கிய உபயோகம் இவற்றை அடிப்படையாகக் கொண்டு உலைகள் வகைப்படுத்தப்படுகின்றன. கீழே, பிளவுகளை உண்டாக்கும் நியூட்ரான்களின் வேகத்தைப் பொறுத்து அணுஉலைகளைப் பிரிப்போம்.

இயற்கை யுரேனியம், செழிப்பூட்டப்பட்ட யுரேனியம், புளூட்டோனியம் முதலியவற்றின் கருக்கள், தணிப்பான் கருக்களுடன் கலந்திருக்கும்போது, ஏற்படும் பிளவுகளில் பெரும்பகுதி வெப்பநியூட்ரான்களால் உண்டாக்கப்படுகிறது. இந்தமுறை பயன்படும் அணுஉலையை வெப்ப நியூட்ரான் அணுஉலை அல்லது **வெப்ப அணுஉலை**[3] என்பர். நம் நாட்டில், டிராம்பேயிலுள்ள மூன்று அணு உலைகளும், மற்றும் தாராப்பூர், கோட்டா முதலிய இடங்களில் கட்டிக்கொண்டிருக்கும் அணுஉலைகளும் இவ்வகையைச் சேர்ந்தவை.

வெப்பநியூட்ரான் அணுஉலைகளிலும் இரண்டுவகை உண்டு. அணுஉலையில் பிளவுறும் பொருளும் தணிப்பானும் ஒன்றுக்கொன்று ஒரே சீராகக் கலந்திருக்குமேயானல், அவ்வுலையை ஒரு **படித்தான உலை**[4] என அழைக்கின்றனர். உதாரணமாக, செழிப்பூட்டப்பட்ட யுரேனிய உப்புக் கரைசல்[5] போன்றவற்றை எரிபொருளாகக் கொண்டுள்ள உலைகள் இப்பிரிவைச் சார்ந்தன ஆகும். இவ்வுலைகளில் எரிபொருளின் அளவு குறைவாக இருக்கும்.

---

1. shielding materials 2. biological shield
3. thermal neutron reactors, thermal reactors
4. homogeneous reactor
5. enriched uranium salt solution.

இயற்கை யுரேனியத்தை எரிபொருளாகக் கொண்ட உலைகளின் அமைப்பு வேறுவிதமானது. எரிபொருளிலுள்ள யுரேனியம்–238 கருக்களின் கிரியைப் பெருக்கத் தன்மையால், இவற்றைக்கொண்ட உலைகள் ஒரு படித்தானவையாக இருந்தால், அவற்றை வரம்பு நிலைக்குக் கொண்டு வருவது மிகமிகக்கடினம். (இதன் காரணமாகவே, ஒரு படித்தான உலைகளில் செழிப்பூட்டப்பட்ட யுரேனியத்தை உபயோகிக்கிறார்கள். இதனால் எரிபொருளிலுள்ள யுரேனியம்–238 கருக்களின் விகிதம் கணிசமாகக் குறைக்கப்படுகிறது.)

ஆனால் இயற்கை யுரேனியத்தையும் தணிப்பானையும் தகுந்த முறையில் தனித்தனியாகப் பிரித்து வைக்கமுடியுமானால் உலையை வரம்புநிலைக்குக் கொண்டு வரமுடியும். (என்றாலும் இதற்கு உலையமைப்பின் பரிமாணங்கள் பெரிய அளவுள்ளவைகளாக இருக்கும்). இதன் காரணம் யாதெனில் அணுப்பிளவுகளிலிருந்து வெளிப்படும் நியூட்ரான்களின் வேகம் முழுவதும் தணிப்பானிலேயே (யுரேனியம்–238 கருக்களுக்கு எட்டாத தூரத்தில்) பெரும்பாலும் குறைக்கப்படுவதாகும். அதனால் யுரேனியப் பகுதிக்கு நியூட்ரான் வரும்போது அவற்றின் வேகம் கிரியைப் பெருக்கத்திற்குத் தகுந்ததாக இருப்பதில்லை. இவ்வகை உலைகளைப் பலபடித்தான உலைகள்[1] எனக்கூறுவர். இயற்கை யுரேனியத்தை எரிபொருளாகக் கொண்ட அணுஉலைகள் இவ்வகையைச் சார்ந்தவை.

உலையிலுள்ள பிளவுபடும் கருக்கள் இடைநிலைவேகம் உள்ள நியூட்ரான்களால்* பிளவுபட்டால், அவ்வுலையை இடைவேக நியூட்ரான் அணுஉலை[2] என்பர். இவ்வுலைகளில் தணிப்பான் கருக்களின் விகிதம் வெப்ப உலையிலுள்ள விகிதத்தைவிடக் குறைவாக இருக்கும். இம்மாதிரியான உலைகள் அவ்வளவு புழக்கத்தில் இல்லை.

உலைகளில் மற்றொரு முக்கியமான வகை வேக நியூட்ரான் அணு உலைகள்[3]. இவ்வுலைகளில் அணுப்பிளவுகள் வேகநியூட்ரான்களாலேயே ஏற்படுத்தப்படுவதால், இவைகளில் தணிப்பான் தேவையில்லை. இவ்வகையைச் சார்ந்த உலைகள் உலகத்தில் பல உள்ளன.

ஈனுலைகள்[4]

வேகநியூட்ரான் அணுஉலைகளின் ஒரு முக்கிய உபயோகம் இங்கு குறிப்பிடத்தக்கது.

புளூட்டோனியத்தை எரிபொருளாகக்கொண்ட ஒரு வேகநியூட்ரான் அணுஉலையைக் கவனிப்போம். இந்த உலையில் எரிபொருளைச் சுற்றி இயற்கை யுரேனியம் வைக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கருதுவோம்.

---

* இடைநிலைவேக நியூட்ரான்கள் எனப்படுபவை 0·01 கி. எ. வோ. இருந்து 500 கி. எ. வோ. வரையுள்ள சக்தி கொண்டவை.

1. heterogeneous-reactors 2. intermediate neutron reactors 3. fast neutron reactors, fast reactors 4. breeder reactors.

வேக நியூட்ரான்கள் கிரகிக்கப்பட்டுப் பிளவுகள் நிகழும் போது ஒரு புளூட்டோனியம்–239 கருவிலிருந்து சராசரியாக 2·70 வேகநியூட்ரான்கள் வெளிப்படுகின்றன என்று சோதனைகளின் மூலம் அறிந்துள்ளனர். (வெப்ப நியூட்ரான் ஏற்படுத்தும் பிளவுகளில் இந்த எண்ணிக்கையின் சராசரி மதிப்பு 2·88). இந்த நியூட்ரான்களில் ஒன்று பின்னுமொரு வேகப்பிளவு[1] ஏற்படுத்தத் தேவைப்படுகிறது. எஞ்சிய நியூட்ரான்கள் யுரேனியம்–238 கருக்களால் கிரகிக்கப்பட்டு புளூட்டோனியம்–239 கருக்களை உற்பத்தியாக்க உதவுகின்றன என்றால் முதற்கண் பிளவுபடும் ஒவ்வொரு புளூட்டோனியம்–239 கருவிற்கும், 1·70 புளூட்டோனியக் கருக்களை உற்பத்தி செய்யமுடியும். இதை ஈன்றல்[2] எனக்கூறுவர். இதில் ஈனுதல் லாபம்[3] 0·7.

நடைமுறையில், சில நியூட்ரான்கள் உலையைவிட்டு தப்பி விடுவதாலும், இன்னும் சில, யுரேனியம்–238 அற்ற மற்ற கருக்களால் கிரக்கப்படுவதாலும் ஈனுதல் லாபம் 0·70க்குக் குறைவாகவே இருக்கும். எனினும் ஈனப்பட்ட எரிபொருள் கணிசமாகவே இருக்கும்.

இம்முறையில், உபயோகிக்கப்படும் எரிபொருளின் அளவைவிட அதிகமாக எரிபொருளை உண்டுபண்ணலாம். இவ்வகை வேகநியூட்ரான் அணுஉலைகளை, வேக ஈனுலைகள்[4] என அழைக்கின்றனர்.

REFERENCES

1. S. GLASSTONE AND M. C. EDLUND : "*The Elements of Nuclear Reactor Theory*"—Van Nostrand & Co , Princeton, New Jersey.

2. A. M. WEINBERG AND E. P. WIGNER : "*The Physical Theory of Neutron Chain Reactors*"—University of Chicago Press, Chicago.

3. S. GLASSTONE AND A. SESONSKE : "*Nuclear Reactor Engineering*"—Van Nostrand & Co., Princeton, New Jersey.

4. R. STEPHENSON : "*Introduction to Nuclear Engineering*"—McGraw Hill, New York.

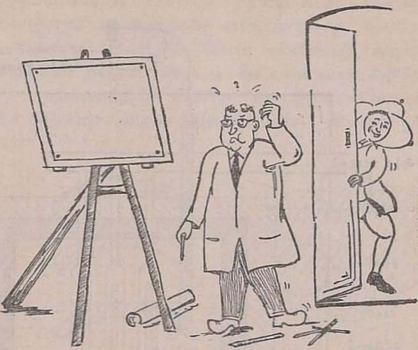
5. S. E. LIVERHANT : "*Elementary Introduction to Nuclear Reactor Physics*"—Prentice Hall of India Ltd., New Delhi.

6. D. J. LITTLER AND J. A. RAFFLE : "*An Introduction to Reactor Physics*"—Pergamon Press, London.

7. R. V. MEGHREBLIAN AND D. K. HOLMES : "*Reactor Analysis*"—McGraw Hill, New York.

---

1. fast fission 2. breeding 3. breeding gain 4. fast breeder reactors.



5. அணு உலை—பொறியியல்

[வ. வெங்கட்ராஜ், சி. வி. அனந்தசயனம்]

1942-ஆம் ஆண்டு சிகாகோ[1] நகரத்தில் முதன்முதலாகத் தொடர் கிரியையை ஆரம்பித்து வைத்ததின் மூலம் ஃபெர்மி[2] அணுயுகத்திற்கு வித்திட்டார். அதுவே இன்று பல்கிப் பெருகி வளர்ந்து பற்பல விதங்களில் பரிணமித்துள்ளது. அவருடைய சிகாகோ அடுக்கை[3]த் தொடர்ந்து இன்று எண்ணற்ற வகையான அணு உலைகள் புழக்கத்தில் உள்ளன.

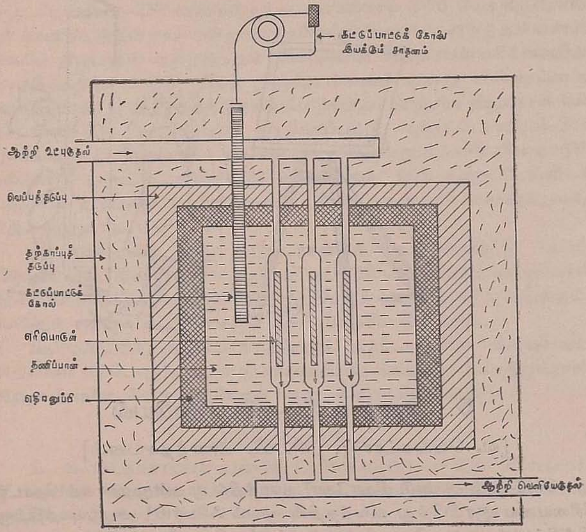
நோக்கத்திலும் செயல் புரியும் முறையிலும் அணு உலைகள் வேறு பட்டுக் காணினும் இவை யாவுமே எரிபொருள், உறை, ஆற்றி, தணிப்பான், எதிரனுப்பி, தடுப்பு, கட்டுப்படுத்தும் கோல்கள் முதலிய முக்கிய உறுப்புகளும், பம்ப்பு, வெப்பப் பரிமாற்றிகள்[4] போன்ற உபகரணங்களும் உடையனவாகும். இவை ஒவ்வொன்றும் அணு உலைகளில் எவ்வாறு எங்கு இடம் பெறுகின்றன என்பதைப் பொறி யியல் கண்கொண்டு பார்ப்போம்.

எரிபொருள்

சுவரை வைத்துத்தான் சித்திரம் எழுதமுடியும் என்பது நாம் அறிந்த பழமொழி. அதுபோல அணு உலைகளில் இன்றியமையாத பாகம்

---

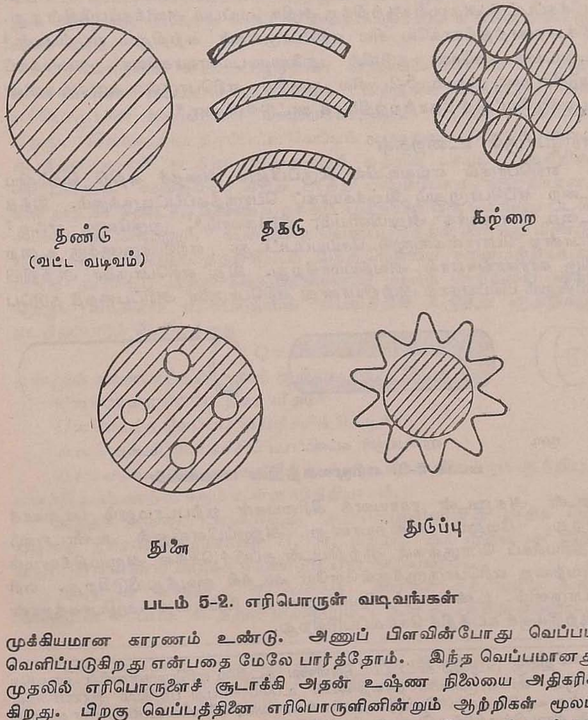
1. Chicago 2. Fermi 3. Chicago pile 4. heat exchangers



படம் 5-1. அணுஉலையின் அமைப்பு

எரிபொருளாகும். எரிபொருள் என்றவுடன் அனல் கக்கி ஜுவாலையுடன் எரியும் நிலக்கரி, விறகு முதலிய எரிபொருள்கள் போன்றதுதான் அணு உலை எரிபொருளும் என்று கற்பனை செய்து கொண்டால், அது முற்றிலும் தவறாகும். சாதாரண எரிபொருள்கள் எரியும்போது அவை காற்றில் உள்ள ஆக்ஸிஜனோடு கூடி, ரசாயன மாற்றம் அடைந்து வெப்பத்தை வெளிப்படுத்துகின்றன. ஆனால் அணுஉலையிலேயோ ரசாயனக் கிரியை ஏதும் ஏற்படுவதில்லை. அணுவின் கருவானது "அணுப்பிளவு" முறையினால் பிளவுறுகிறது. அச்சமயத்தில் பிளவினால் ஏற்பட்ட துண்டங்கள் வெகுவேகமாகத் தெறித்தோடுகின்றன. இப்படித் தெறித்தோடும் துண்டங்கள் சுற்றிலுமுள்ள பொருள்களால் தடுத்து நிறுத்தப்படுகின்றன. இவ்வாறு தடுத்து நிறுத்தப்படும்போது அவற்றின் இயங்கு சக்தி வெப்ப சக்தியாக மாறுகின்றது. இவ்வாறு வெப்பம் உண்டாக்க ஏதுவாக இருக்கும் பொருளைத்தான் நாம் 'எரிபொருள்' எனக் குறிப்பிடுகின்றோம்.

யுரேனியம், புளூட்டோனியம், தோரியம் முதலிய உலோகங்களும் அவற்றின் ஆக்ஸைடுகளுமே அணுஉலை எரிபொருளாக உபயோகிக்கப்படுகின்றன. ஆரம்ப காலத்தில் இவை ஸிலிண்டர் வடிவம் கொண்ட துண்டுகளாகவோ தகடுபோன்ற தட்டையான வடிவத்திலோ உருவாக்கப்பட்டன. தற்காலத்தில் சிறுசிறு தண்டுகளாலான எரிபொருள் கற்றைகளே அதிகமாக வழக்கத்தில் உள்ளன. இதற்கு ஒரு



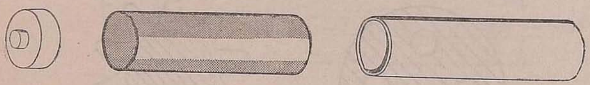
படம் 5-2. எரிபொருள் வடிவங்கள்

முக்கியமான காரணம் உண்டு. அணுப் பிளவின்போது வெப்பம் வெளிப்படுகிறது என்பதை மேலே பார்த்தோம். இந்த வெப்பமானது முதலில் எரிபொருளைச் சூடாக்கி அதன் உஷ்ண நிலையை அதிகரிக்கிறது. பிறகு வெப்பத்தினை எரிபொருளினின்றும் ஆற்றிகள் மூலம் வெளிக் கொணர்ந்து அதனால் எரிபொருளை அதிக உஷ்ணத்தால் உருகாமல் காப்பதுடன், வெளிக் கொணரப்பட்ட வெப்பத்தினை மின்சாரம் உண்டாக்குதல், கடல்நீரினின்று குடிநீர் உண்டாக்குதல்

முதலிய பயன்தரும் காரியங்களுக்கு பயன்படுத்துகின்றனர். எரிபொருளினின்று எவ்வளவுக்கெவ்வளவு வெப்பம் வெளிக் கொணர்கின்றதோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு அதிக மின்சாரமோ குடி நீரோ உண்டாக்கலாம். ஆகவே எரிபொருள் அமைப்பினை நிர்ணயிப்பதில் அதன் வெப்பப்பெயர்ச்சிப் பண்பும்[1] ஒரு முக்கிய அம்சம் ஆகும். எரிபொருளைச் சிறுசிறு தண்டுகளாகவோ கோளங்களாகவோ[2] அமைப்பதின் மூலம் அவற்றின் வெப்பப் பெயர்ச்சிப் பரப்பு[3] அதிகரிக்கப்பட்டு அதனால் ஆற்றிக்கு அதிக வெப்பம் அளிக்கப்படுகின்றது. இக்காரணத்திற்காகவே சில எரிபொருள்கள் சுற்றிலும் துடுப்புகள்[4] உடையனவாகவோ நடுவில் துளையுடையனவாகவோ அமைக்கப்படுகின்றன. படம் 5-2 சில முக்கிய எரிபொருள் வடிவங்களின் குறுக்குவெட்டுத் தோற்றத்தினைக் காட்டுகின்றன.*

எரிபொருள் உறைகள்[5]

எரிபொருள் எவ்வடிவில் இருப்பினும் அதைச் சுற்றி மெல்லிய உறை எப்பொழுதும் இறுக்கமாகப் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இந்த உறை பொதுவாக அலுமினியம், ஜிர்க்கலாய்[6], துருவேரு எஃகு[7] போன்ற பொருள்களினால் செய்யப்பட்டது. எரிபொருளுக்கு உறை இரு காரணங்களால் அவசியமாகிறது. இது எரிபொருளை ஆற்றியினின்றும் பிரிப்பதால் ஆற்றியானது எரிபொருளை அரிப்பதைத் தடுப்ப



படம் 5-3. எரிமூலகத்தின் பாகங்கள்

துடன் அதனுடன் ரசாயனக் கிரியைகள் ஏற்படாமலும் பாதுகாக்கிறது. மேலும் உறையானது அணுப்பிளவினால் உண்டாகும் கதிரியக்கப் பொருள்கள் ஆற்றியுடன் தப்பிச் செல்ல அனுமதிக்காமல் அவற்றை எரிபொருளுக்குள்ளேயே அடக்கி வைத்துவிடுகிறது. எரிபொருளில் உண்டாகும் வெப்பமானது இவ்வுறை வழியாகத்தான் ஆற்றிக்குக் கடத்திச் செல்லப்படுகிறது.

---

* இங்கு படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளவை திடநிலை எரிபொருள்களின் வடிவங்களாகும். எரிபொருள்களை திரவநிலையில் உபயோகிப்பது பற்றியும் ஆராய்ச்சிகள் நடந்து வருகின்றன. இதற்கு உதாரணங்களாவன, யுரேனிய உப்புக்களின் கரைசல்கள், திரவ பிஸ்மத்தில் யுரேனிய உலோகத்தின் கரைசல் முதலியனவாகும்.

1. heat transfer property 2. balls 3. heat transfer area 4. fins or ribs 5. cladding 6. zircaloy 7. stainless steel.

ஆற்றி

அணுஉலைகளில் ஆற்றி புரியும் பணி முக்கியமானது ஆகும். அணுஉலையின் உள்ளகத்தில் உண்டாக்கப்பட்ட வெப்பத்தை வெளிக் கொணரும் தூதுவன் ஆற்றியேயாகும். ஆற்றியாகப் பயன்படும் பொருள் திரவமாகவோ வாயுவாகவோ இருக்கலாம். நீர், கனநீர் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு, ஹீலியம், கரிமப் பொருள்கள், மற்றும் உருக் கிய ஸோடியம், பொட்டாசியம் இவற்றுள் சிலவாகும். எரிபொருளினின் றும் ஆற்றிக்கு எவ்வாறு வெப்பம் ஏற்றப்படுகிறது என்பதை இங்குக் காண்போம்.

எரிபொருளின் மையப்பகுதிதான் அணுஉலையிலேயே மிக அதிக மான உஷ்ணநிலை உள்ள பகுதியாகும். இந்த வெப்பமானது முதலில் எரிபொருளின் விளிம்புக்கு **வெப்பக்கடத்தல்**[1] மூலம் கடத்தப்படு கிறது. இவ்வாறு கடத்தப்பட்ட வெப்பம் உறையை மீண்டும் வெப்பக் கடத்தல் மூலம் கடந்து உறையைச் சுற்றிப் பாயும் ஆற்றியை அடைகிறது. உறையைச் சுற்றி ஆற்றி பாயும்போது, ஆற்றியானது உறையுடன் தொடர்பு கொண்டிருக்கும் பகுதியில் ஒரு மெல்லிய படலம் சலனமற்று இருக்கும். உறையின் வெளிப்புறத்தில் இருந்து மீண்டும் ஒருமுறை வெப்பக்கடத்தல் மூலம் இந்த மெல்லிய சலனமற்ற படலத் தைத் தாண்டிப் பிறகு **வெப்பச்சலனம்**[2] மூலம் ஆற்றியை அடை கிறது. இவ்வாறு எரிபொருளின் மையத்தில் இருந்து ஆற்றிக்குக் கடத்தப்படும் வெப்பத்தை

$$Q = U.A.\Delta t$$

என்னும் சமன்பாட்டின் மூலம் குறிக்கலாம். இங்கு

Q = மொத்த வெப்ப நீக்க வீதம்*

U = மொத்த வெப்பப் பெயர்ச்சிக் கெழு[3]

A = வெப்பப் பெயர்ச்சிப் பரப்பு

Δt = எரிபொருள் மையத்தில் உள்ள உஷ்ணநிலைக்கும் ஆற்றியின் சராசரி உஷ்ணநிலைக்கும் உள்ள வித்தியாசம்.

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து, எரிபொருளினின்று அதிக வெப் பத்தை நீக்கவேண்டுமாயின் U, A, மற்றும் Δt முதலியன அதிக மதிப்புள்ளனவாய் இருக்க வேண்டும் என அறியலாம்.

இவற்றுள் U ஆனது எரிபொருள், அதைச் சுற்றியுள்ள உறை இவற்றின் வெப்பம் கடத்தும் திறனையும்[4], உறை, ஆற்றி இவற்றைப்

---

*heat removal rate—இது ஒரு செகண்டு அல்லது ஒரு மணி போன்ற ஒரு குறிப்பிட்ட கால இடைவெளியில் நீக்கப்படும் மொத்த வெப்பத்தைக் குறிப்பிடு கிறது. இதை கலோரி/செகண்டு போன்ற அலகுகளில் குறிப்பிடலாம்.

1. conduction 2. convection
3. overall heat transfer coefficient
4. thermal conductivity.

பொறுத்துள்ள வெப்பச் சலனத்தையும் பொறுத்துள்ளது. சாதாரண மாக எரிபொருள் யுரேனியமாகவோ தோரியமாகவோ இருப்பதால் அவைகளின் வெப்பம் கடத்தும் திறனை அதிகரிக்கவோ குறைக்கவோ முடியாது. ஆனால் சிறந்த வெப்பக்கடத்திகளை உறையாகப் பயன் படுத்துவதாலும் உறையின் தடிப்பைக் கூடியமட்டும் குறைவாக இருக்கச் செய்வதாலும், Uஇன் மதிப்பை அதிகரிக்கச் செய்யலாம். வெப்பச்சலனம், ஆற்றியையும் அது பாயும் வேகத்தையும் பொறுத் துள்ளது. ஆற்றியின் வேகம் அதிகமாக அதிகமாக, வெப்பச் சலன மும் அதிகரிக்கும். ஆனால் ஆற்றியின் வேகம் அதிகரிக்கும்போது கூடவே அழுத்தக் குறைவும் ஏற்பட்டு, அதனால் ஆற்றியைப் பம்ப்பு செய்யத் தேவையான திறனும் மிக அதிகமாகிறது. (இதற்குரிய காரணத்தைப் பின்னால் காண்போம்.) ஆகவே ஆற்றியின் வேகத்தை ஒரு குறிப்பிட்ட அளவிற்கு மேல் அதிகரிப்பதற்கு இல்லை.

வெப்பப் பெயர்ச்சிப் பரப்பான A-ஐ, பொதுவாக, உறையின் புறப்பரப்பளவாகக் கொள்ளலாம். A-யானது எவ்வளவு அதிகமாக அமைகிறதோ அவ்வளவு அதிகமான வெப்பத்தை எரிபொருளினின்று நீக்கலாம். பல முறைகள் இதற்காகக் கையாளப்படுகின்றன. உறை யில் துடுப்புகள் பொருத்துவதின் மூலம் இந்தப் பரப்பளவை மிக அதிக மாக்கலாம். எரிபொருளை அதிக விட்டமுள்ள ஒரே உருளையாக அமைப் பதற்குப் பதில் அதே அளவு எரிபொருளை விட்டம் குறைந்த பல சிறு உருளைகளாகச் செய்வதின் மூலம் வெப்பப் பெயர்ச்சிப் பரப்பளவை வெகுவாக அதிகரிக்கலாம். தற்கால அணுஉலைகளில் இம்முறைகளே பெரும்பான்மையாகக் கையாளப்படுகின்றன.

கடைசியாக உள்ள Δt என்னும் பதம் இரு வெப்ப நிலைகளுக் கிடையே உள்ள வித்தியாசத்தைக் குறிப்பிடும் எனக் கண்டோம். இவ்வித்தியாசத்தை அதிகரிக்க வேண்டுமாயின் எரிபொருளின் உஷ்ண நிலை அதிகமாகவோ, ஆற்றியின் சராசரி உஷ்ணநிலை குறைவாகவோ இருக்க வேண்டும்.

எரிபொருளின் உஷ்ணநிலையை ஒரு குறிப்பிட்ட வரம்பிற்கு மேல் உயர்த்த முடியாது. ஏனென்றால் அந்த உஷ்ணநிலைக்குப் பிறகு எரி பொருளில் மாற்றங்களோ சேதமோ ஏற்படுகின்றன. இது விரும்பத் தக்கது அல்ல. ஆகையால் எரிபொருள் இந்த உஷ்ணநிலையை அடைய அனுமதிக்கப் படுவதில்லை. அவ்வாறே ஆற்றியின் சராசரி உஷ்ணநிலையைக் குறைத்தல் சாத்தியமில்லை. ஆற்றியின் உஷ்ணநிலை அதிகமாக இருந்தால்தான், சக்தி மாற்றத் திறமை[1] அதிகமாக இருக் கும். ஆகவே ஒரு குறிப்பிட்ட வரம்புக்குக் கீழே ஆற்றியின் உஷ்ண நிலையை அமைத்தல் லாபகரமாக அமையாது.

---

1. conversion efficiency.

ஆற்றியின் வேகத்திற்கும், அழுத்தக் குறைவிற்கும் உள்ள உறவை இப்பொழுது காண்போம். ஒரு திரவமோ வாயுவோ திடப் பரப்பின் மீது பாயும்போது, பாய் பொருளின்[1] ஒட்டத்தை அதற்கும் திடப் பரப்புக்கும் இடையே உண்டாகும் உராய்வு விசை தடை செய்ய முயலுகிறது. இந்த உராய்வு விசை, பாயும் திசைக்கு எதிராக அமைந்து பாய்பொருள்களின் அழுத்தத்தைக் குறைக்கிறது. ஆற்றி, குழாய் களின் வழியாகப் பாயும் போது உராய்வு விசை காரணமாக அதன் அழுத்தம் படிப்படியாகக் குறைந்து கொண்டே போகும். சோதனை கள் மூலம் இந்த அழுத்தக் குறைவு பாய்பொருளின் வேகத்தின் வர்க் கத்திற்கு நேர் விகிதத்தில் உள்ளது என நிரூபிக்கலாம். பாய் பொருளின் வேகத்தை இரண்டு மடங்காக்கினுல் அதன் அழுத்தக் குறைவு நான்கு மடங்கு [2^2] ஆகும். ஆற்றியைப் பம்ப்பு செய்யத் தேவையான திறன், ஆற்றி பாயும் வீதத்தையும், குழாய்களில் ஏற்படும் அழுத்தக் குறைவையும் பொறுத்துள்ளது. எனவே அழுத்தக் குறைவு அதிகமானுல், ஆற்றியைப் பம்ப்பு செய்யத் தேவைப்படும் திறனும் அதிகரிக்கும்.

அழுத்தக்கலன் வகையும்[2] அழுத்தக் குழாய் வகையும்[3]

கனநீர் அல்லது நீர் ஆற்றியாகப் பயன்படுத்தப்படும்போது ஆற்றிக்கு ஏற்றப்பட்ட வெப்பத்தினைக் கொண்டு நீராவியினை அணுஉலையினுள்ளேயோ அணுஉலைக்கு வெளியே ஒரு கொதி கலனிலோ[4] உண்டாக்கலாம். ஏனைய பொருளை ஆற்றியாகப் பயன் படுத்தினுல் கொதிகலன்களில் தான் நீராவியை உண்டாக்க முடியும். அணுஉலையிலேயே நீராவியை உண்டாக்காமல் இருக்க விரும்பினுல் ஆற்றியை அதிகமான அழுத்தத்தில் வைத்திருக்கவேண்டும். இவ்வாறு அதிக அழுத்தமுள்ள ஆற்றியினை அணுஉலையில் பயன்படுத்த இரு முறைகள் கையாளப்படுகின்றன. அவை அழுத்தக் கலன் வகை, அழுத்தக் குழாய் வகை என்பன ஆகும்.

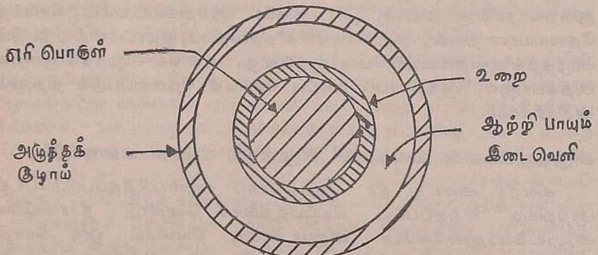
அழுத்தக் கலன் வகையில் அணு உலைக்கலன் முழுவதும் அதிக மான அழுத்தத்திற்கு உட்படுத்தப் படுகிறது. அநேகமாக அவை ஒரு சதுர சென்டிமீட்டருக்கு 70 கிலோகிராம்கள் அழுத்தம் வரை உப யோகப்படுத்தப் படுகின்றன. இதன் காரணமாக, இம்முறையில் மிகப் பெரிய அணுஉலைகள் கட்டுவதில் பல பொறியியல் இடர்ப்பாடுகள் உள்ளன. எனினும் இம்முறையில் ஆற்றியும் தணிப்பானும் ஒன்றே என்ற அனுகூலமும் உண்டு. இது ஒரு விதத்தில் உலை அமைப்புத் திட்டத்தை எளிதாக்குகிறது.

---

1. fluids 2. pressure vessel type 3. pressure tube type
4. boiler.

இரண்டாவது முறையில் எரிமூலகத்தை ஓர் அழுத்தக் குழாயினுள் வைத்து, எரி மூலகத்திற்கும் அழுத்தக் குழாய்க்கும் நடுவேயுள்ள இடைவெளியில் ஆற்றியைப் பாய்ச்சுகிறார்கள்.

இந்த அமைப்பைப் படம் 5-4இல் காண்க. இங்கு நீரின் அழுத்தத்திற்குக் குழாய்கள் மட்டும் உட்படுகின்றனவே அன்றி, கலன் உட்படுவதில்லை. இக்காரணத்தால் பெரிய உலைகள் அமைப்பது சாத்தியமாகிறது. மேலும் இவ்வகையில் ஆற்றியும் தணிப்பானும் தனித்தனியே உள்ள காரணத்தால் தணிப்பான் குறைந்த அழுத்தம் உள்ளதாயும் ஆற்றியினின்றும் வேறுபட்டதாகவும் இருத்தல் சாத்தியம் ஆகிறது.



படம் 5-4. அழுத்தக் குழாயின் அமைப்பு
(குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றம்)

ஆற்றியின் அழுத்தத்தை ஒரே சீரான நிலையில் இருக்கச் செய்ய அழுத்தமூட்டிகள்[1] என்னும் சில உபகரணங்கள் பயன்படுகின்றன. ஒரு முறையில் உஷ்ணப்படுத்தும் பொருட்டு, மின்கம்பிச் சுருள்கள் ஆற்றியின் பாதையில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். ஆற்றியின் அழுத்தம் குறையும் போதெல்லாம் இக் கம்பிச் சுருள்கள் வழியாக மின்சாரம் பாய்ந்து ஆற்றியை மேலும் சூடாக்குவதால் ஆற்றியின் அழுத்தம் அதிகரிக்கிறது. மற்றுமொரு முறையில் எழுச்சிக் கலன்[2] என்று சொல்லப்படும் உபகரணம் உபயோகிக்கப்படுகிறது. இந்த எழுச்சிக் கலனில் ஆற்றியின் மட்டத்திற்கு மேல் உள்ள ஹீலியம், ஆர்கான் போன்ற வாயுக்கள் அழுத்தத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இதனால், ஆற்றியும் அதே அழுத்தத்திற்கு உட்படுகிறது. ஏதாவது காரணத்தால் ஆற்றியின் அழுத்தம் மாறுபட்டால் இந்தக் கலனில் அதற்குத்

1. pressurisers 2. surge tank.

தகுந்தாற்போல் ஆற்றியின் மட்டம் அதிகமாவதாலோ குறைவதாலோ ஆற்றியில் ஏற்படும் அழுத்த வேறுபாடுகள் மிகவும் குறைக்கப்படு கின்றன.

அணுஉலை உபயோகத்திற்கு ஆற்றியைத் தேர்ந்தெடுக்கும் போது அதன் வெப்பப் பெயர்ச்சிப் பண்புகளுக்கு மட்டுமல்லாது அதன் பௌதிக ரசாயன குணாதிசயங்களுக்கும் முக்கியத்துவம் அளிக்கப் படுகிறது. அணுஉலைப் பொருள்களை அரிக்கும் தன்மை ஆற்றிக்கு உண்டு. நீர், கனநீர் ஆகியவற்றின் அரிக்கும் தன்மை pH* எனப்படும் அளவையைப் பொறுத்துள்ளது. pHஇன் மதிப்பு 7ஆக இருக்கும்போது அலுமினியத்திலும், 9ஆக இருக்கும்போது இரும்பிலும் மிகக் குறைந்த அரிப்பு ஏற்படுகிறது. ஆகவே அரிப்பு வீதத்தைக் குறைக்க ஆற்றியை ஒரு குறிப்பிட்ட pH வரம்பிற்குள் வைத்திருக்க வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது. ஆற்றியின் ஒரு சிறு பகுதியை எப்பொழுதும் **அயனிப் பரிமாற்றிகள்**[1] ஊடே பாய்ந்து கொண்டே இருக்கச் செய்வதின் மூலம் ஆற்றியின் pH மதிப்பைக் கட்டுப் படுத்தலாம். இந்த அயனிப் பரிமாற்றிகள் இன்னொரு விதத் திலும் பயன்தருகின்றன. இவை ஆற்றியிலுள்ள கதிரியக்கப் பொருள் களையும் அயனிப் பரிமாற்றி முறையில் நீக்கித் தம்முள்ளேயே வைத்துக் கொள்வதால் அயனிப் பரிமாற்றியினின்று வெளிவரும் ஆற்றி கதிரியக்கம் குறைந்து காணப்படும். வாயுக்களை ஆற்றியாக உபயோகிக்கும் போது அவற்றில் அடங்கியுள்ள ஈரத்தினை[2] அகற்ற தகுந்த சாதனங்கள் பொருத்தப்பட்டிருக்கும்.

தணிப்பான்

வெப்ப நியூட்ரான் அணுஉலைகள் இயங்க தணிப்பான் மிகவும் அவசியம் என்றும் வேக நியூட்ரான்கள் அணு உலைகளில் இவை தேவையில்லை என்றும் முன் அத்தியாயத்தில் கண்டோம்.

அணுப்பிளவின் போது எரிபொருளிலிருந்து உண்டாகும் காமாக் கதிரியக்கம் காரணமாகவும் நியூட்ரான்கள் வேகம் குறைக்கப்படுவதின் காரணமாகவும், தணிப்பானின் உஷ்ணநிலை அதிகமாகிறது. தணிப் பானின் உஷ்ணநிலை ஒரு குறிப்பிட்ட வரம்பிற்கு மேலே இருக்கு மாயின் அதன் தணிக்கும் தன்மை வெகுவாக பாதிக்கப்படுகிறது. எனவே அணுஉலையில் சூடாகிவிட்ட தணிப்பானிலிருந்து வெப்பத்தை அகற்ற வேண்டும். தணிப்பான் திரவப்பொருளாக இருப்பின் அதைக்

---

* குறிப்பு: pH என்பது ஒரு திரவத்தின் அமிலத்தன்மையையோ காரத் தன்மையையோ அளக்க உதவும் ஓர் அளவை ஆகும். அமிலத்தன்மையோ காரத் தன்மையோ இல்லாத நீரின் pHஇன் மதிப்பு (20°Cயில்) 7 ஆகும்.

1. ion exchangers 2. moisture.

குழாய்கள் மூலம் வெளிக் கொணர்ந்து அதன் வெப்பத்தைக் குறைத்து மீண்டும் அணுஉலைக்குள் செலுத்திவிடலாம். தணிப்பான் கிராஃபைட்டு[1] போன்ற திடப்பொருள்களாக இருப்பின் வாயுக்களைச் செலுத்தி வெப்பத்தை நீக்கலாம்.

அணுஉலைக்கலன்[2]

காலண்டிரியா எனப்படும் அணுஉலைக்கலன் எரிபொருளையும் தணிப்பானையும் தன்னுள்ளே அடக்கி வைத்திருக்கும் ஸிலிண்டர் வடிவமுள்ள ஒரு பெரிய பாத்திரம் ஆகும். எரிபொருளுக்கு உறையாகப் பயன்படுத்தப்படும் பொருள்களையே இதை அமைப்பதற்கும் உபயோகப்படுத்தலாம். இந்த ஸிலிண்டரின் இரு பக்கங்களும் துளைகள் உள்ள மிகவும் தடிப்பான உலோகத் தகட்டால் மூடப்பட்டிருக்கும். இந்தத் துளைகள் வழியாகத்தான் காலண்டிரியாக் குழாய் எனப்படும் நீளமான குழாய்கள் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். எரி பொருளும், அழுத்தக் குழாய்களும் இந்தக் குழாய்களுக்குள் தான் செருகி வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

அழுத்தக் கலன் அல்லாத அணுஉலைகளில் காலண்டிரியாவின் சுவர்த்தடிப்பு, எவ்வளவு குறைவாக இருக்க முடியுமோ அவ்வளவு குறைவாக அமைக்கப்படுகின்றது. இதற்குக் காரணம் என்னவெனில் அணுப்பிளவுக்குப் பயன்படும் நியூட்ரான்களைக் கலனின் சுவர்கள் அனுவசியமாக உட்கிரகிப்பதைத் தடுப்பதேயாகும். நியூட்ரான், காமா முதலிய கதிர்வீச்சு காரணமாக காலண்டிரியாச் சுவர்கள் உஷ்ண மடைகின்றன. ஆகவே இவற்றிலிருந்து வெப்பத்தை அகற்ற வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது. சில அணுஉலைகளில் வெப்பத்தால் கலனுக்கு ஏற்படும் விரிவை ஏற்றுக் கொள்ள, கலனின் மேல் பாகம் **விரிவடையும் துருத்திகள்**[3] எனப்படும் சாதனத்துடன் பொருத்தப் பட்டிருக்கும். பொறியியல் முன்னணியில் இருக்கும் தற்காலத்தில் முன்பே தகைவுக்கு உட்படுத்தப்பட்ட கான்கிரீட்டினால்[4] ஆன கலன் களும் உபயோகிக்கப்படுகின்றன.

தடுப்புகள்

உயிரினங்களுக்கு ஊறு விளைவிக்கும் கதிர்வீச்சைத் தடுக்க, தடுப்பு அவசியம் என்று கண்டோம். தடுப்புகள் இருவகைப்படும். அவை முறையே **வெப்பத்தடுப்புகள்**[5] என்றும் **தற்காப்புத் தடுப்புகள்**[6] என்றும் கூறப்படுகின்றன. இவற்றினுள்ளே வெப்பத் தடுப்பு அணுஉலை உள்ளகத்திற்கு அருகில் இருக்கும். ஆகவே அணுப்

---

1. graphite 2. calandria 3. expansion bellows 4. pre-stressed concrete 5. thermal shield 6. biological shield.

பிளவின்போது அதிக சக்தியோடு வெளிப்படும் கதிர்வீச்சு முதலில் வெப்பத்தடுப்பைத் தாக்கித் தன் சக்தியின் பெரும் பகுதியினை இழக்கின்றது. கதிர்வீச்சு இழந்த சக்தியானது தடுப்பில் வெப்பச் சக்தியாக வெளிப்படுகிறது. ஆகவே வெப்பத் தடுப்புக்குள்ளே குழாய்களைச் செருகி அவற்றின் மூலம் ஆற்றிகள் செலுத்தப்படுகின்றன. வெப்பத் தடுப்புகள் அமைக்க வார்ப்பிரும்பு அல்லது எஃகு அல்லது நீர் நிரப்பப் பட்ட அலுமினியம் அல்லது இரும்பினால் ஆக்கப்பட்ட பெட்டி போன்ற அமைப்புகள் பயன்படுகின்றன. இவற்றுள் உள்ள நீரானது தடுப்பைக் குளிரச் செய்வது மட்டுமல்லாது அணுஉலை உள்ளகத்திலிருந்து வெளிச் செல்லும் வேக நியூட்ரான்களின் வேகத்தைக் குறைக்கிறது. அடுத்திருக்கும் இரும்பு, வேகம் குறைந்த நியூட்ரானைத் தடுத்து நிறுத்த உதவுகின்றது.

தற்காப்புத் தடுப்புகள் வெப்பத் தடுப்புகளால் சக்தி குறைக்கப் பட்டபின் வெளிவரும் கதிர்வீச்சைத் தடுத்து அதை வெகுவாகக் குறைக்க நிர்மாணிக்கப்படுகின்றன. இவை ஏற்கெனவே சக்தியிழந்த கதிர்வீச்சைத்தான் தடுத்து நிறுத்துவதால் அதிக உஷ்ணம் அடைவதில்லை. பொதுவாக கான்கிரீட், பெரிய தொட்டிகளில் நிரப்பப்பட்ட நீர் முதலியனவே தற்காப்புத் தடுப்புகளாக உபயோகிக்கப்படுகின்றன.

எவ்வளவு தடுப்புகள் வைத்தாலும் கொஞ்சம் கதிர்வீச்சு வெளியே வரத்தான் செய்யும். எனவே கதிர்வீச்சு வரம்பிற்குட்பட்டு இருக்குமாறு தடுப்புகள் செய்யுமே யொழிய, கதிர்வீச்சை முற்றிலும் தடுத்து நிறுத்தி விடமாட்டா.

கட்டுப்பாட்டுக் கோல்கள்

இவற்றைப்பற்றி “அணு உலை-கட்டுப்பாடு” என்னும் அத்தியாயத்தில் விரிவாகக் காண்போம்.

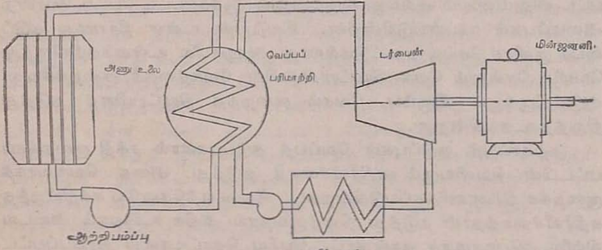
திறன் வட்டம்[1]

அணுஉலையில் உண்டாகும் வெப்பமானது எவ்வாறு மின்சக்தியாக மாற்றப்படுகிறது என்பதை இங்கு சுருக்கமாகக் காண்போம்.

அணுப்பிளவினால் எரிபொருளில் உண்டாகும் வெப்பமானது அதன் மையத்திலிருந்து உறையின் வழியாக ஆற்றிக்குக் கடத்தப் படுகிறது எனப் பார்த்தோம். குறைந்த உஷ்ண நிலையில் அணு உலைக்குள் நுழைந்த ஆற்றியானது உலையில் உற்பத்தியான பெரும் பான்மையான வெப்பத்தை ஏற்றுக் கொண்டு உயர்ந்த உஷ்ண நிலையில் உலைக்கு வெளியே வருகிறது. சூடேறிய இந்த ஆற்றியானது, ஒரு கொதிகலனுக்குள் உள்ள பல குழாய்களின் வழியே பாய்ச்சப்படுகிறது. இந்தக் குழாய்களைச் சுற்றிக் கொதிகலனுக்குள் நீர் செலுத்தப்படும்.

1. power cycle.

இந்தக் கொதிகலனில் பிரதம ஆற்றியானது தனது வெப்பத்தை அதில் நிறைந்துள்ள இரண்டாம் ஆற்றிக்கு ஈந்து குளிர்வடைகிறது. வெப்பம் அடைந்த இரண்டாம் ஆற்றியில் ஒரு பகுதியோ முழுவதுமோ கொதிகலனில் நீராவியாக மாற்றப்படுகிறது. இவ்வாறு உண்டாக்கப் பட்ட நீராவியானது டர்பைன்களுக்குள் செலுத்தப்படுகிறது.



படம் 5-5. அணு உலையிலிருந்து திறன்

டர்பைன்கள் சுழலும்போது இவற்றுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் மின்ஜனனிகளும்[1] சுழன்று மின்சாரம் உண்டாக்கப்படுகிறது. டர்பைனில் விரிவடைந்த நீராவி ஒரு குளிர்கலனில்[2] குளிர்விக்கப் பட்டு மீண்டும் நீராகக் கொதிகலனுக்குள் செலுத்தப்படுகின்றது. டர்பைனுக்குள் செல்லும் நீராவியைக் கட்டுப்படுத்துவதின் மூலம் ஜனனியில் உண்டாக்கப்படும் மின்சக்தியைக் கட்டுப்படுத்தலாம்.

அணுஉலை வகைகள்

எதையுமே வகைப்படுத்தி நோக்குவது மனிதனுக்கு இயல்பு. அணுஉலைகளையும் நாம் அவற்றைக் காணும் கோணத்திலிருந்து பல வகைகளாகப் பிரிக்கலாம். பௌதிகக் கண் கொண்டு நோக்கின் அவற்றை முறையே "வேக நியூட்ரான் அணுஉலை", "இடைவேக நியூட்ரான் அணுஉலை" "வெப்ப நியூட்ரான் அணுஉலை" என்று பிரிக்கலாம் என்பதை முன் சென்ற அத்தியாயத்தில் கண்டோம். ஆனால் பொறியியல் கண்கொண்டு நோக்கின் அவற்றை இவ்வளவு எளிதாகப் பாகுபாடு செய்துவிட முடியாது. அணுஉலையில் ஆற்றியாக உபயோகிக்கப்படும் பொருள்களை அடிப்படையாகக் கொண்டோ தனிப்

1. generators 2. condenser.

பாகைப் பயன்படும் பொருள்களைப் பிரதானமாகக் கொண்டோ அணு உலை எப்பணிக்கு உபயோகப்படுத்தப்படுகிறது என்பதை ஆதாரமாகக் கொண்டோ வகைப்படுத்தலாம். இவற்றுள் எல்லாம் ஆற்றிகளை அடிப் படையாகக் கொண்டு வகைப்படுத்துவதே சற்று எளிது என்னும் காரணத்தால் அம்முறையையே கீழே பயன்படுத்துவோம்.

அழுத்த நீர் அணு உலை[1]

அமெரிக்காவில் மிக அதிகமாக உபயோகப்படுத்தப்படும் இவ்வகை அணுஉலை முதன் முதலாக ஐடாஹோ[2] நகரத்தில் 1953ஆம் ஆண்டு வரம்பு நிலை அடைந்தது. அன்று முதல் இன்று வரை பலவித மாற்றங் களை அடைந்து வரும் இவ்வித அணுஉலைகள் பெரும்பாலும் போர்க் கப்பல்களில் உபயோகிக்கப்பட்டுள்ளன.

இந்த அணுஉலையில் ஆற்றி கொதி நிலையை அடைவதில்லை. அணுஉலையில் உள்ள ஆற்றியானது கொதி நிலை அடையாத காரணத் தால் நீராவியை உண்டாக்க மற்றொரு ஆற்றிச் சுற்றோட்டப் பாதை தேவைப்படுகிறது. இவற்றில் பிரதம ஆற்றி, அணுஉலை உள்ளகத்தி னின்றும் வெப்பத்தை நீக்கி அதை இரண்டாம் ஆற்றிக்கு வெப்பப் பரி மாற்றிகள்[3] மூலம் கொடுக்கிறது. இந்த இரண்டாம் ஆற்றியினின்றும் நீராவி உண்டாகி டர்பைன்களைச் சுழலச் செய்கிறது. இவ்வாறு வெப்ப சக்தி இயக்க சக்தியாக மாற்றப்படுகிறது. இங்கு உண்டாக்கப்படும் நீராவி மிகக் குறைந்த உஷ்ண நிலை கொண்டுள்ளதால் இது அணு உலையின் வெப்பத் திறமையை[4] * வெகுவாகப் பாதிக்கிறது. அழுத்தநீர் அணுஉலைகளின் அளவு, உபயோகிக்கப்படும் எரிபொருள் இவை மாறு பட்டு இருப்பினும், இவை யாவற்றுக்கும் பொதுவாக இருக்கும் குணாதி சயங்களைக் கொண்டு அழுத்த நீர் அணுஉலைகளை இரு பெரும் பிரிவு களின் கீழ் அடக்கலாம். அவை முறையே அழுத்தக் கலன் வகை அழுத்தநீர் அணுஉலை,[5] அழுத்தக் குழாய் வகை அழுத்தநீர் அணு உலை[6] என்பன ஆகும். இவை இரண்டையும் பற்றி, நாம் ஆற்றிகளைப் பற்றி குறிப்பிடும் இடத்திலேயே விரிவாகக் கண்டோம்.

அணுஉலையில் உள்ள நீரின் உஷ்ண நிலை அதிகமாக அதிக மாக, ரியாக்டிவிடி[7] குறையுமாறு பொதுவாக அமைக்கப்படுகிறது.

$$\text{*வெப்பத் திறமை} = \frac{\text{இயக்க சக்தியாக மாற்றப்பட்ட வெப்ப சக்தி}}{\text{அளிக்கப்பட்ட மொத்த வெப்ப சக்தி}}$$

1. pressurised water reactor
2. Idaho
3. heat exchangers
4. thermal efficiency
5. pressure vessel type pressurised water reactor
6. pressure tube type pressurised water reactor
7. reactivity

இவ்வாறு உஷ்ணநிலை மாற்றங்களால் ஏற்படும் ரியாக்டிவிடி மாற்றங்களை உஷ்ண நிலைக் கெழுவால்* அளவிடுவர்.

அழுத்தக் கலன்களை அமைப்பதில் பல கஷ்டங்கள் உள்ளன. இக்கலன்களை அதிக உஷ்ண நிலைக்கு உட்படுத்த முடியாது. இருப்பினும் இத்தகைய அணுஉலைகளின் பிராபல்யம் வியத்தற்குரியதே. இதற்குப் பல காரணங்கள் இருக்கலாம். இவை கச்சிதமான அளவுடையனவாய் இருப்பதால் போர்க் கப்பல்களில் பயன்படத் தக்கவை. இவ்வாறு போர்க் கப்பல்களில் பயன்படும் பொழுது அணுஉலைகளின் திறமையையோ செலவையோ பற்றி அதிகம் பொருட்படுத்துவதில்லை. மற்றும் இம்மாதிரி அணுஉலைகளை நிர்மாணிக்கத் தேவையான பொறியியல் நுணுக்கங்களை இன்றைய பொறியியலாளர் நன்கறிவர். இவ்வகையில் முக்கிய அணுஉலைகளாகப் பின்வருவனற்றைக் குறிப்பிடலாம். ஷிப்பிங்போர்ட் (Shippingport), ஐடாஹோ (Idaho), இண்டியன் பாயின்ட் (Indian point), பனி உடைக்கும் கப்பல் லெனின் (Ice breaker 'Lenin').

கொதி நீர் அணுஉலைகள்[1]

கொதி நீர் ஒரு சிறந்த வெப்பம் அகற்றும் பொருள் எனப் பல காலமாக அறிவர். எனினும் கொதி நீரை அணுஉலைகளில் ஆற்றியாகப் பயன்படுத்தலாமா என்று ஐயம் இருந்து வந்தது. இந்த ஐயத்தைப் போக்கி, கொதி நீரை அணுஉலைகளில் ஆற்றியாகப் பயன்படுத்தலாம் என்று நிருபித்துக் காட்டியது போராக்ஸ்–1[2] என்னும் உலை. இம் முதல் வெற்றியைத் தொடர்ந்து பல சோதனைகளுக்குப் பின் இன்று இவ்வகை அணு உலைகள் மிகுந்த முன்னேற்றம் அடைந்துள்ளன. இந்தியாவில் பம்பாய்க்கு அருகே தாராப்பூரில்[3] கட்டப்படும் அணு உலை இவ்வகையைச் சேர்ந்ததே.

இந்த அணுஉலைகளில் நீரின் அழுத்தம், அழுத்தநீர் உலைகளைக் காட்டிலும் குறைவாக இருக்கும். இதனுல் அழுத்தக் கலன் அமைப்பு எளிதாவதுடன் அதை அமைக்க ஆகும் செலவும் கணிசமாகக் குறைகிறது. அணுஉலையிலேயே நீராவியை உண்டாக்குவதால் வெப்பப் பரிமாற்றிகள் உபயோகிப்பதைத் தவிர்க்கலாம். மேலும் வெப்பத் திறமையும் அதிகரிக்கிறது. (படம் 5–6)

டர்பைனைச் சுழல்விக்கப் பயன்படும் நீராவி எங்கு, எவ்விதம் உண்டாக்கப்படுகிறது என்பதைப் பொறுத்து, கொதிநீர் அணுஉலையுடன் பயன்படும் திறன் வட்டங்களைக் கீழ்க்கண்டவாறு வகைப்படுத்தலாம்.

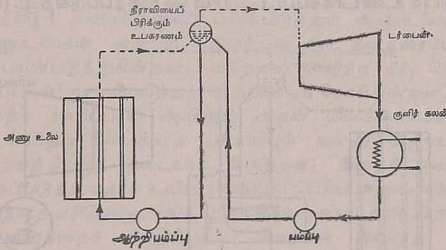
---

* உஷ்ணநிலைக் கெழு: ஒரு டிகிரி உஷ்ணநிலை மாற்றத்தால் ரியாக்டிவிடியில் ஏற்படும் மாற்றம். கெழு நெகட்டிவ் ஆனுல் உஷ்ணநிலை அதிகரிப்பதால் ரியாக்டிவிடி குறைகிறது; கெழு பாஸிட்டிவ்ஆனுல் ரியாக்டிவிடி உஷ்ண நிலையுடன் அதிகரிக்கிறது.

1. boiling water reactors 2. Borax–1. 3. Tarapore—இது பம்பாயில் இருந்து சுமார் 80 மைல்கள் தூரத்தில் அமைந்துள்ளது.

1. நேர் சுற்றுமுறை[1]

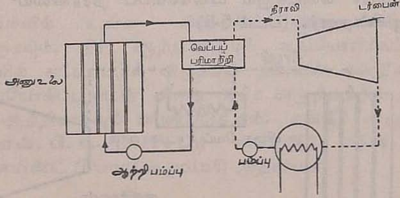
நேர்சுற்றுமுறையில் உற்பத்தி செய்யப்பட்ட நீராவியானது நேராக டர்பைன்களுக்கே செலுத்தப்படுகின்றது.



படம் 5-6. நேர் சுற்றுமுறை

2. மறைமுகச் சுற்றுமுறை[2]

இம் முறையில், உலைக்கும் டர்பைனுக்கும் நடுவே வெப்பப் பரிமாற்றிகள் பயன்படுத்தப் பெறுகின்றன. (படம் 5–7) மறைமுகச் சுற்றுமுறை ஏறத்தாழ அழுத்தநீர் அணுஉலை முறை போன்றதே.



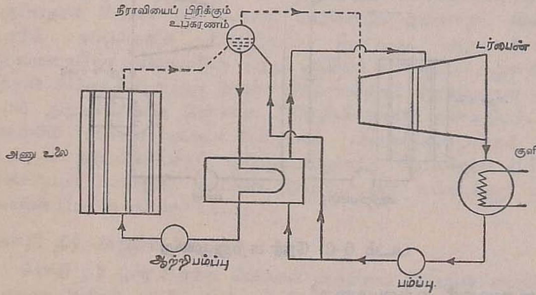
படம் 5-7. மறைமுகச் சுற்றுமுறை

3. கலப்புச் சுற்றுமுறை[3]

இம்முறையில் நீராவியில் ஒரு பகுதி அணு உலையிலும் மற்றப் பகுதி வெப்பப் பரிமாற்றியிலும் உண்டாக்கப்படுகிறது. அணுஉலையில்

1. direct cycle 2. indirect cycle 3. dual cycle or mixed cycle.

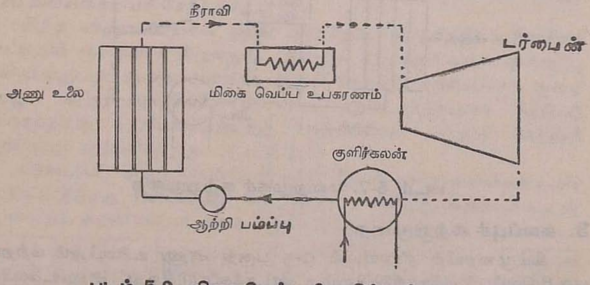
உண்டாக்கப்பட்ட நீராவி வெப்பப் பரிமாற்றியில் உண்டாக்கப்படும் நீராவியைக் காட்டிலும் அழுத்தம் அதிகம் உள்ளதாக இருக்கும். ஆகவே டர்பைனின் அதிக அழுத்தப் பகுதியில் இந்த நீராவி பாய்ச்சப் படுகிறது. டர்பைனின் அழுத்தம் குறைந்த பகுதியில்[1] தான் வெப்பப் பரிமாற்றியில் உண்டாக்கப்பட்ட நீராவி செலுத்தப்படுகிறது. (படம் 5-8)



படம் 5-8. கலப்புச் சுற்றுமுறை

2. மிகைவெப்ப நீராவிச் சுற்றுமுறை[2]

இங்கே உலையில் உண்டாக்கப்பெற்ற நீராவியை மீண்டும் உஷ்ணப்படுத்தி, கிடைக்கும் மிகைவெப்ப நீராவியை[3] டர்பைனில் பயன்படுத்துகின்றனர். (படம் 5-9)



படம் 5-9. மிகைவெப்ப நீராவிச் சுற்றுமுறை

---

1. low pressure stage 2. super heat cycle. 3. super heated steam.

*EBWR, ஐடாஹோ முதலியவை தற்போது செயல்பட்டு வரும் கொதிநீர் அணுஉலைகளிற் சில.

கனநீர் அணுஉலைகள்

கனநீரைத் தணிப்பானுகப் பயன்படுத்தும் அணுஉலைகளை கனநீர் அணுஉலைகள் என்பர். இவற்றுள் சில கனநீரையே ஆற்றியாகவும் பயன்படுத்துகின்றன. மற்றவை அழுத்த நீர், கொதி நீர், கரிமப் பொருள்[1] முதலியவற்றை ஆற்றியாகக் கொள்கின்றன. கனநீர் மிகச் சிறந்த தணிப்பான் ஆயினும் அதன் மலைக்கவைக்கக் கூடிய விலையும் எளிதில் கிடைக்காத தன்மையும் கனநீர் அணுஉலைகளின் முன்னேற்றத்திற்குத் தடையாக இருந்தன. இதைத் தணிப்பானுக உபயோகப்படுத்துவதால் உண்டாகும் மிகப்பெரிய அனுகூலம் இயற்கை யுரேனியத்தை எரிபொருளாக உபயோகிக்க முடியும் என்பதே.

யுரேனியத்தைச் செழிப்பூட்ட[2] வசதிகள் இல்லாத இந்தியா போன்ற நாடுகளுக்கு இது ஒரு வரப்பிரசாதமாக விளங்கும். கனநீரை உபயோகப் படுத்துவதால் ஏற்படும் மற்றொரு நன்மை அணுஉலையின் பரிமாணத்தைக் கணிசமாகக் குறைக்க முடியும் என்பதே.

கனநீரை அணுஉலைகளில் உபயோகிப்பதின் ஒரு பிரதிகூலம் கனநீரில் உள்ள டியூடிரியம்[3] நியூட்ரான் கதிர் வீச்சால் ட்ரிடியமாக[6] மாற்றப்படுகிறது. இவ்வாறு உண்டாக்கப்பட்ட ட்ரிடியம் கதிரியக்கப் பொருளாதலால் ஆற்றியின் சுற்றோட்டப் பாதைகளில் கனநீர் வெளியே கசியாதவாறு போதுமான முன்னெச்சரிக்கையுடன் திட்டமிட வேண்டும்.

இந்தியாவில் உள்ள ஸைரஸ்[5] அணுஉலையில், கனநீர் தணிப்பானுகவும், நீர் ஆற்றியாகவும் உபயோகிக்கப்படுகின்றன. ராஜஸ்தானில் கட்டப்படும் அணுமின் நிலையம் கனநீரைத் தணிப்பானுக உபயோகிப்பதுடன் அதை அதிக அழுத்தத்தில் குழாய் மூலம் செலுத்தி, ஆற்றியாகவும் பயன்படுத்தும். கனநீர் அணு உலைகளில் வேறு சில என். பி. டி. (N. P. D), என். ஆர். எக்ஸ். (N. R. X.), டக்ளஸ் பாயின்ட் (Douglas point) முதலியன.

கரிமப்பொருள் ஆற்றி அணுஉலைகள்[6]

அணுஉலைகள் புழக்கத்திற்கு வந்து பல வருடங்களானுலும், 1955ஆம் ஆண்டுவரை கரிமப்பொருள்கள் ஆற்றியாக உபயோகிக்கப் படவே இல்லை. இதற்குக் காரணங்களாவன :

---

*EBWR—Experimental Boiling Water Reactor

1. organic substance. 2. to enrich 3. deuterium—H^2
4. tritium—H^3 5. Cirus 6. organic cooled reactors.

(i) கரிமப் பொருள்களின் வெப்பமாற்றுப்[1] பண்புகளைப் பற்றி அதிக விவரங்கள் தெரியாதது ;

(ii) கரிமப் பொருள்கள் கதிர் வீச்சாலும் உயர் உஷ்ண நிலையாலும் சேதமடைதல் முதலியவை ஆகும். இவ்விதச் சேதத்தை அதிகமாக அடையாத கரிமப் பொருள்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பிறகே இத்துறையில் முன்னேற்றம் ஏற்படத் தொடங்கியது.

இவ்வகை அணுஉலைகள் அழுத்த நீர் உலைகள் போன்றவையே. மேலும் கரிமப்பொருள்களின் தணிக்கும் தன்மை சாதாரண நீருக்குச் சமமானதே. எரிமூலகங்கள், அவை உள்ளகத்தில் அமைக்கப்படும் விதம் முதலியனகூட ஏறத்தாழ ஒரே மாதிரி உள்ளன.

கரிமப் பொருள்களை ஆற்றியாக உபயோகப்படுத்துவதின் சில முக்கிய அனுகூலங்கள் பின்வருவன :

(i) பிரதம ஆற்றியின் குறைந்த அழுத்தம் ;

(ii) ஆற்றிக்கும் எரிபொருளுக்கும் இடையே ரசாயனக் கிரியை ஏற்படாததன்மை ;

(iii) மிகக் குறைந்த அரிமான வீதம்[2]

(iv) குறைந்த தூண்டற் கதிரியக்கம்[3]*, முதலியன.

கரிம ஆற்றிகளின் பிரதிகூலங்கள் பின்வருவன :

(i) கதிர்வீச்சினாலும் வெப்பத்தினாலும் பாதிக்கப்படுதல் ;

(ii) பல கரிம ஆற்றிகள் அறை உஷ்ணநிலையில் திடநிலையில் இருப்பதால் அவற்றை உருக்க வேண்டிய அவசியம்.

கதிர்வீச்சால் அதிகம் பாதிக்கப்படாததும் உச்ச உஷ்ணநிலையிலும்[4] குறைந்த ஆவி அழுத்தம் உள்ளதுமான கரிமப் பொருள் டெர்ஃபீனைல்[5] ஆகும். இதை அணுஉலைகளில் தணிப்பானாகவும், ஆற்றியாகவும் பயன்படுத்தலாம். கரிமப் பொருள்களில் வெப்பத்தினால் ஏற்படும் ரசாயனச் சிதைவு 800° Fக்குப் பிறகுதான் ஏற்படுகிறது. அதுவரையில் மிகச் சிறிய அளவிலேயே காணப்படுகிறது. ரசாயனச் சிதைவினால் ஹைடிரஜன், மீத்தேன்[6] போன்ற லேசான வாயுக்களும் கனம் அதிகம் உள்ள தார்[7] போன்ற கலப்புப் பொருள்களும் உண்டாக்கப்படுகின்றன. இவ்வித அணுஉலைகள் சீரிய முறையில் இயங்க இவ்வாயுக்களை அவ்வப்பொழுது அகற்ற, சிறந்த வாயுநீக்கி[8] சாதனமும் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

இந்தக் கரிமப் பொருள்கள் தீப்பற்றி எரியக் கூடிய தன்மை உடையனவாயினும் போதிய பாதுகாப்பு நடவடிக்கைகள் எடுத்துக்கொண்டு

---

*கதிர்வீச்சுத் தாக்குதலால் ஒரு பொருளில் ஏற்படும் கதிரியக்கத்தைத் தூண்டற் கதிரியக்கம் என்பர்.

1. heat transfer 2. corrosion rate 3. induced activity 4. elevated temperatures 5. terphenyl 6. methane 7. tar 8. degaser.

அணுஉலே வேலைக்குப் பயன்படுத்தப் பெறுகின்றன. மேலும் இவை அணுஉலையின் உட்சென்று வெளிவந்த போதிலும் கதிரியக்கம் பெறுவதில்லையாதலால் குழாய்களைத் தடுப்புக்களுக்குப் பின்னே அமைத்தல் அவசியம் இல்லை. இவற்றிடம் காணப்படும் ஒரு சிறந்த குணம் உஷ்ண நிலை அதிகமாக அதிகமாக, இவற்றின் அடர்த்தியும் குறைந்து, அதனால் தணிக்கும் தன்மையும் பாதிக்கப்படுகிறது. இந்தக் குணம் அணுஉலையின் திறன் கட்டுப்பாட்டை எளிதாக்கி விடுகிறது.

இவ்வகையில் செயல்படும் சில உலைகள் ஐடாஹோவிலுள்ள ஓ. எம். ஆர். இ. [O.M.R.E (Idaho)], ஒஹையோவிலுள்ள பிக்வா [PIQUA (Ohio)], ரஷ்யாவிலுள்ள ஆர்பஸ் [ARBUS (USSR)] முதலியன.

வாயு ஆற்றி உலைகள்[1]

இங்கிலாந்து, பிரான்சு ஆகிய நாடுகளில் மட்டுமே அதிக கவனம் செலுத்தப்பட்டு முன்னேற்றம் செய்யப்பட்ட அணுஉலை வகைகளில் இது முதன்மையானது. இங்கிலாந்தில் இவ்வகை அணுஉலைகள் புளூட்டோனியம் உற்பத்தி செய்வதற்காகவே முதன் முதலில் கட்டப்பட்டன. பிறகு அவையே மின்சாரம் உண்டு பண்ணக் கூடியனவாகவும் முன்னேற்றம் செய்யப்பட்டன. இவ்வகையில் கிராஃபைட்டைத் தணிப்பானகக் கொண்ட அணுஉலைகளே அதிகம்.

இயற்கை யுரேனியத்தையே இதற்கு எரிபொருளாக உபயோகப் படுத்தலாம். எனவே யுரேனியத்தைச் செழிப்பூட்ட வசதி இல்லாத நாடுகள், எளிதாகக் கிடைக்கும் இயற்கை யுரேனியத்தை மின்சாரம் உண்டாக்க லாபகரமாகப் பயன் படுத்தலாம். ஆனல் இவ்வணுஉலைகள் பரிமாணத்தில் பெரியவை. வாயு ஆற்றி அணுஉலைகளில் அலுமினியம் மக்னீசியம், பெரில்லியம் போன்ற பொருள்கள் எரிபொருளுக்கு உறையாக உபயோகப் படுகின்றன. உயர்ந்த உஷ்ண நிலைகளில் யுரேனியத்திற்கும் அலுமினியத்திற்கும் இடையே ரசாயனக் கிரியை ஏற்படுவதால் மக்னீசியமே பிரெஞ்சு அணுஉலைகளில் உபயோகிக்கப் படுகிறது. ஆனல் 900°F-க்கு மேல் மக்னீசியமும் ஆற்றியாகிய கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடுடன் ரசாயனக் கிரியை புரிவதால் அதிக உஷ்ண நிலை அணுஉலைகளுக்கு பெரில்லியம் உபயோகிப்பதைப் பற்றி ஆராய்ச்சிகள் நடைபெற்று வருகின்றன. தணிப்பானகிய கிரா∴பைட்டுக்கும், ஆற்றியாகிய கார்பன்-டை- ஆக்ஸைடுக்கும் இடையே 900°F வரை கிரியை உண்டாவது இல்லை. இதன் பிறகு கிரா∴பைட்டானது ஆக்ஸிகரணத்திற்கு உள்ளாகிறது. இந்த ஆக்ஸிகரணம் வாயுவின் அழுத்தத்தையும் காமாக் கதிர் வீச்சையும் பொறுத்துள்ளது.

இவ்வணுஉலைகள் செயல்படும்போது கலனுக்குக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு வாயுவினல் உண்டாகும் அரிமானம் கவனத்திற்குரியது.

---

1. gas cooled reactors.

இந்த அரிமானம் வாயுவில் மிகச் சிறிய அளவில் கலந்துள்ள கார்பன் மாளுக்ஸைடு[1] வாயுவைப் பொறுத்துள்ளது. இவ்வணு உலைகளின் அழுத்தக் கலன்கள் 50 அடியிலிருந்து 70 அடி வரை விட்டம் உடையன. தற்போது இக்கலன்களின் சுவர்த்தடிமன் 4 அங்குலம் ஆக இருக்கிறது. இவற்றின் தடித்த சுவர் உடைவதற்கோ, விரிசல் அடைவதற்கோ சாத்தியமில்லையாதலால் இந்த அணுஉலைகளுக்கு சாதாரணமாக உள்ளடக்கி*[2] தேவையில்லை.

அழுத்தநீர் உலைகளோடு ஒப்பிட்டுப் பார்க்கும் போது வாயு ஆற்றி அணுஉலைகளின் திறனைக் கட்டுப் படுத்துவது சிறிது கடினமானதே.

1000°F-க்கு மேலான உஷ்ண நிலையில் செயல்படும் வாயு ஆற்றி அணுஉலைகளை ஒரு தனிப்பிரிவின் கீழ் வகைப் படுத்துகின்றனர். இவற்றிற்கு அதி உஷ்ணநிலை வாயு ஆற்றி அணு உலைகள்[3] எனப் பெயர். டிராகன்[4], இ. ஜி. ஸி. ஆர். (EGCR, OakRidge), ஏ. ஜி. ஆர் (AGR, Windscale) முதலியன இவ்வகையைச் சார்ந்தவை. இந்த அணுஉலைகளில் இயற்கை யுரேனியத்திற்குப் பதிலாக செழிப்பூட்டப்பட்ட யுரேனியமே உபயோகிக்கப் படுகிறது. இங்கு நிலவும் உயர் உஷ்ணநிலை காரணமாக அலுமினியமோ மக்னீசியமோ எரி பொருள்களுக்கு உறையாக உபயோகிக்க முடியாது. துருவேரு எஃகு, ஜிர்க்கோனியம், ஹேஸ்டலாய்[5] முதலியனவே பயன்படுத்தப் படுகின்றன.

திரவ உலோக ஆற்றி அணுஉலைகள்[6]

ஸோடியத்தின் சிறந்த வெப்பப் பெயர்ச்சிப் பண்பு காரணமாக அது வெப்ப நியூட்ரான் அணு உலைகளிலும் ஆற்றியாக உபயோகிக்கப் படுகிறது. மேலும், உருக்கிய உலோகங்களைக் குறைந்த அழுத்தத்திலும் உயர் உஷ்ண நிலையிலும் பயன்படுத்தலாம். அவற்றைப் பம்ப்பு செய்யச் செலவாகும் திறனும் மிகக் குறைவே. பொதுவாக ஸோடியம், ஸோடிய-பொட்டாசியக் கலவை, இவையே திரவ உலோக ஆற்றிகளாகப் பயன்படுத்தப் பெறுகின்றன. இப்பிரிவின் முதல் அணுஉலை ஐடாஹோ நகரத்தில் உள்ள ஈ. பீ. ஆர்-1 (EBR-1) என்னும் உலையே. இதைத் தொடர்ந்து ரஷ்யா, பிரிட்டன் முதலிய நாடுகளும் இவ்வகை அணு உலைகளைக் கட்டத் தொடங்கியுள்ளன.

---

* உள்ளடக்கியின் விளக்கத்தை **அணு உலை-சாதனங்கள்** என்ற அத்தியாயத்தில் பார்க்கவும்.

1. corbon monoxide 2. containment 3. high temperature gas-cooled reactors—HTGCR 4. Dragon 5. hastalloy 6. liquid metal cooled reactors.

ஸோடியத்தை ஆற்றியாகக் கொண்டு முதன் முதலாக வேக நியூட்ரான் அணுஉலேகள் கட்டப்பட்டன. இதற்கு முக்கிய காரணம் இம்முறையில் யுரேனியம், தோரியம் முதலியவற்றிலிருந்து திறனை வெகு அதிக வீதத்தில் வெளியேற்ற முடிகிறது. ஸோடியத்தின் கொதி நிலை 1620°F அளவில் உள்ளதால் இந்த அணுஉலைகளைக் குறைந்த அழுத்தத்திலேயே இயங்கச் செய்யலாம்.

இவ்வளவு சிறந்த ஆற்றியாக விளங்கும் ஸோடியத்திடம் உள்ள குறை என்னவெனில் அது நியூட்ரான் தாக்குதலால் பீட்டாக் கதிர் வீசும் ஸோடியம்-24ஆக மாறுவதே. இதனால் ஆற்றியுடன் சம்பந்தப் பட்ட குழாய்களும், மற்றும் பம்ப்பு முதலிய சாதனங்களும் காப்பு அறை களுக்குள்ளேயே[1] அமைக்கப்படுகின்றன. ஸோடியம்-24இன் அரை ஆயுள் 14·5 மணி ஆகையால் அணுஉலையை நிறுத்தி வெகு நேரம் கழித்தே அவ்வறைகளுக்குள் செல்ல முடியும். ஸோடியத்தை ஆற்றி யாகப் பயன்படுத்துவதில் உள்ள இன்னொரு பிரதிகூலம் அணுஉலை செயல்படாத போதும் ஆற்றி உறையாமல் இருக்கச் செய்யவேண்டும் என்பதே.

ஸோடியம் பாயும் குழாய்களில் அரிப்பு ஏற்படாமல் இருக்க ஆற்றியில் ஆக்ஸிஜன் மிகக் குறைந்த அளவே இருத்தல் அவசியம். குறிப்பிட்ட அளவிற்கு மேல் ஆக்ஸிஜன் அதிகரித்தால் ஸோடியம் ஆக்ஸைடு குழாய்ச் சுவர்களில் படிந்து குழாய்களை அடைத்து விடுகிறது. இதனால் பிரதம ஆற்றியை வெளிக் காற்றுடன் தொடர்பு இல்லாமல் செய்வதுடன் அதில் உள்ள சிறிய அளவு ஆக்ஸிஜனை அவ்வப்போது அகற்றவும் வேண்டும். ஆக்ஸிஜனை அகற்ற குளிர்ப் பொறி[2] அல்லது உஷ்ணப் பொறி[3] முறை பயன்படுத்தப்படுகிறது. குளிர்ப்பொறி முறையில் ஸோடியம் ஆற்றியின் ஒரு பகுதி குளிர்விக்கப் படுகிறது. இதனால் அதில் கரைந்துள்ள ஸோடியம் ஆக்ஸைடு வீழ்படிவு[4] ஆகிப் பிறகு வடிகட்டும் முறையால் நீக்கப் படுகிறது. உஷ்ணப் பொறி முறையில் ஜிர்க்கோனியம் முதலிய ஆக்ஸிஜன் நாடும் பொருள்களினூடே உஷ்ணப்படுத்தப்பட்ட ஸோடியம் பாய்ச்சப்படுகிறது. ஆக்ஸிஜன் மீதுள்ள அபரிமிதமான நாட்டத்தால் ஜிர்க்கோனியம் அதை மட்டும் உறிஞ்சிக் கொண்டு ஸோடியத்திலிருந்து ஆக்ஸிஜனை நீக்குகின்றது.

ஸோடியத்தை ஆற்றியாகக் கொள்வதில் உள்ள நன்மைகளைக் கருதி இதைப் பயன்படுத்தும் முறைகளை மேலும் அபிவிருத்தி செய்ய முயற்சிகள் நடைபெற்று வருகின்றன.

---

1. shielded vaults
2. cold trapping
3. hot trapping (high temperature gettering)
4. precipitate.

உந்து விசை அணுஉலைகள்[1]

இந்த அத்தியாயத்தில் இதற்கு முன் பலவகை அணு உலைகளைப் பற்றி விளக்கமாகக் கூறப்பட்டது. இவற்றுள் பெரும்பான்மையானவை ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் நிலையாக அமைக்கப்பட்டவை. அவற்றுள் சில மின்சக்தி உற்பத்திக்கும் சில ஆராய்ச்சிக்கும் பயன்படுகின்றன. இனி, கப்பல், ஆகாய விமானம் போன்ற வாகனங்களுக்கும், விண் வெளியில் மனித சஞ்சாரத்திற்கு அடிகோலும் ராக்கெட்டுகளுக்கும் உந்து விசை அளிக்க எவ்வகையில் அணுஉலையைப் பயன்படுத்தலாம் என்று காண்போம்.

பொதுவாக வாகனங்களுக்கு இயக்க சக்தி அளிக்கும் சாதனங்கள் குறைந்த எடையும், குறைந்த கன அளவும் கொண்டவையாய் இருத்தல் அவசியம். அவை விலை குறைந்தும், குறைந்த செலவில் இயங்கக் கூடியவையாயும் இருக்க வேண்டும். மேலும் அவை நம்பகமான முறையில் தடைப்படாமல் செயல்படக்கூடியனவாயும், எளிதில் பராமரிக்கக் கூடியனவாயும் இருக்க வேண்டும். உதாரணமாக ஆகாய விமானம் பறக்கும்போது அதன் எஞ்சின் திடீரென்று பழுதுற்று, இயங்காமல் நின்று விட்டால் அதனால் உண்டாகும் அபாயகரமான விளைவுகளைப் பற்றி விளக்க வேண்டிய அவசியமில்லை.

மேற்கூறிய பலவகையான அணுஉலைகளுள் எந்த ஒன்றையும் தகுந்த மாற்றங்களுடன் வாகனத்திற்கு உந்து விசை அளிக்கப் பயன் படுத்த முடியும். மோட்டார் காரை இயக்க உள் எரி எஞ்சின்[2] பயன் படுகிறது. அதேபோல் மேற்கூறிய வாகனங்களை இயக்க அணு உலையைப் பயன்படுத்தலாம்.

வாகனங்களை இயக்க அணு உலையை உபயோகிக்க முடியுமா? இந்தக் கேள்விக்கு பதில் 'முடியும்' என்பதே ஆகும். ஆனால் அதற்குப் பணச் செலவு அதிகம். பணச் செலவு அதிகமாக இருப்பதால் இவற்றை உபயோகப்படுத்துவது அவசியமா என்ற கேள்வி எழுவது இயற்கையே. இவ்வினாவிற்கு விடை அவ்வாகனத்தின் உபயோகத்தைப் பொறுத்தே உள்ளது. உதாரணமாக அணுஉலையால் இயக்கப்படும் நீர்மூழ்கிக் கப்பல்களைக் கடற்படையில் உபயோகித்தால் செயல் முறையில் பல அனுகூலங்கள் உள்ளன. அவைகளைப் பற்றிப் பின்னால் காண்போம். இவ்வித விசேஷ அனுகூலங்கள் உடைய நீர்மூழ்கிக் கப்பல்களைப் பயன்படுத்துவதால் நாட்டின் பாதுகாப்பு பலமடைகிறது. எனவே, இத்தகைய அத்தியாவசியத் தேவைகளில் பணச் செலவு இரண்டாம் பட்சமாகக் கருதப்பட்டு மேற்கூறிய அனுகூலங்களுக்கே முக்கியத்துவம் கொடுக்கப்படுகிறது.

---

1. propulsion reactors
2. internal combustion engine.

அணுஉலையின் எரிபொருள் நீண்ட காலம் புதுப்பிக்க வேண்டிய தேவையில்லாமல் செயல்படக்கூடியது. அதே அளவு சக்தியைப் பெறத் தேவைப்படும் ஏனைய எரிபொருள்களாகிய நிலக்கரி, பெட்ரோலியம், எண்ணெய் போன்றவற்றின் எடை அணுஉலை எரிபொருளின் எடையைப்போல் பல்லாயிரம் மடங்கு அதிகமாகும். இது அணு உலையின் ஒரு முக்கிய அனுகூலமாகும். ஆனால் அணுஉலை மற்றொரு முக்கியமான குறைபாடு கொண்டுள்ளது. இக்குறையானது கதிர் வீச்சைத் தடுக்கப் பயன்படும் தடுப்பின் எடையே ஆகும். அணு உலையின் அளவைப் பொறுத்து தடுப்பின் எடை 100 முதல் 1500 டன் வரை இருக்கலாம். சிறந்த தடுப்பான்களாகிய டங்ஸ்டன்[1], போரான் கார்பைடு[2] முதலியவற்றை தடுப்புப் பொருளாக உபயோகித்தாலும் தடுப்பின் எடை மேற்கூறியதைவிட 10% அல்லது 15% தான் குறையும்.

சமுத்திர சஞ்சாரத்திற்கு அணுஉலை

அணுஉலையை உபயோகித்துக் கப்பல்களையும், நீர்மூழ்கிக் கப்பல்களையும் செலுத்த முடியும் என்பதில் எள்ளளவும் சந்தேகமேயில்லை. இன்று பல கப்பல்கள், நீர்மூழ்கிக் கப்பல்கள், விமானம் தாங்கிக் கப்பல்கள்[3] அணு தரும் சக்தியால் கடலில் சஞ்சரிக்கின்றன. கடலில் அணு உலையை முதன் முதலில் உபயோகித்த பெருமை அமெரிக்கக் கடற்படையைச் சேர்ந்த யு. எஸ். எஸ். நாட்டிலஸ்[4] என்ற நீர்மூழ்கிக் கப்பலைச் சாரும். இது தன் அணுஉலையில் ஒரு முறை இடப்பட்ட எரிபொருளைக்கொண்டு 69,000 மைல்களைக் கடந்தது. இதே தூரத்தைக் கடக்கத் தேவைப்படும் டீசல் எண்ணெய் 20 லட்சம் கேலன்களாகும். இதுவே அணுஉலையை உபயோகிப்பதால் ஏற்படும் முக்கிய அனுகூலமாகும். ஒரு முறை அணுஉலையின் உள்ளகத்தில் எரிபொருள் நிரப்பப்பட்டால், கிட்டத்தட்ட மூன்று வருடங்கள் வரை அதனால் செயல்பட முடியும். ஆகையால் அணுஉலைக் கப்பல்களில் எரிபொருளுக்காகும் செலவு குறைவாகும். ஆனால் அணுஉலையை நிர்மாணிக்க ஆகும் செலவு அதே அளவு திறன் தரும் டீசல் எஞ்சின் விலையைவிடப் பன் மடங்காகும். மேலும் அணுஉலைக் கதிர் வீச்சிலிருந்து மாலுமிகளையும் பிரயாணிகளையும் காக்கும் பொருட்டுக் கனமான தடுப்பு உபயோகிப்பது அவசியமாகிறது. எரிபொருளைக் கையாளவும் அணுஉலையைச் செப்பனிடவும், பராமரிக்கவும் சில தனிப்பட்ட சாதனங்கள் தேவைப்படுகின்றன. இவை மட்டுமன்றி கடலில் ஏற்படக்கூடிய புயல், மோதல் முதலியவற்றால் ஏற்படக்கூடிய அபாயங்களினின்று அணுஉலை சேதமடையாமல் காப்பதும் மிகமிக அவசியமாகின்றது. ஏனெனில் டீசல் எண்ணெய் அல்லது நிலக்கரியை எரிபொருளாக உபயோகிக்கும்

---

1. tungsten
2. boron carbide
3. aircraft carriers
4. U. S. S. Nautilus.

கப்பல் விபத்துக்குள்ளாகி அதன் எஞ்சினே கொதிகலனே சேதமடைந்தால் அதனுல் ஏற்படும் பின் விளைவுகள் அதிகமில்லை. ஆனுல் அணுஉலைக் கப்பலின் அணுஉலை சேதம் அடைந்து கதிரியக்கப் பொருள்கள் வெளியேறினுல் அதனுல் ஏற்படும் பின்விளைவுகள் பயங்கரமானவை.

அடிக்கடி துறைமுகத்திற்கு வரும் தேவை ஏற்படாமல் கப்பல்கள் நீண்டகாலம் கடலிலேயே சஞ்சரிக்க வேண்டிய தேவையுள்ள பொழுதே அணுஉலைகளை உபயோகிப்பது சிறந்தது என்பது தெளிவாகும். இத்தகைய தேவைகளைக் கொண்டது கடற்படை. மேலும் நாட்டின் பாதுகாப்பும் பிணைந்திருப்பதால் அதிகப் பணச் செலவு ஒரு பொருட்டல்ல. ஆகையினுலேயே இன்று செயல்பட்டு வரும் அணுஉலைக் கப்பல்களுள் பெரும்பான்மையானவை கடற்படையைச் சார்ந்தவை ஆகும். அவற்றுள்ளும் பெரும்பான்மையானவை நீர்மூழ்கிக் கப்பல்களே. நீர்மூழ்கிக் கப்பல்களை இயக்க அணுஉலைகளை உபயோகிப்பதில் சில பிரத்யேகமான அனுகூலங்கள் உள்ளன.

இரண்டாம் உலகப்போரில் நீர்மூழ்கிக் கப்பல்கள் பெருமளவில் உபயோகிக்கப்பட்டன. அது அணு சகாப்தத்தின் ஆரம்ப காலம். அணுஉலைகள் இன்னும் புழக்கத்திற்கு வரவில்லை. ஆகையால் நீர்மூழ்கிக் கப்பல்களை இயக்க டீஸல் எஞ்சின்களே பெரும்பாலும் உபயோகிக்கப்பட்டன. இதில் சில குறைபாடுகள் உள்ளன. டீஸல் எஞ்சின்கள் இயங்க ஆக்ஸிஜன் தேவை. ஆகையால் நீர்மூழ்கிக் கப்பல் நீர்ப்பரப்பில் இருக்கும்போது எந்திரங்களை இயக்கி மின்சாரம் உற்பத்தி செய்து மின்கலன்களில் செலுத்திச் சேமித்து வைக்கின்றனர். பின்னர் இந்த மின்சாரமே நீருக்கடியில் நீர்மூழ்கிக் கப்பலைச் செலுத்த உதவுகின்றது. ஆனுல் இவ்வாறு மின்கலங்களினின்று பெறக்கூடிய மின்சாரம் ஒரு குறிப்பிட்ட வரம்புக்கு உட்பட்டது. ஆகையால் மின்கலங்களில் மின்சாரம் குறைந்தவுடன் கப்பல் நீர்ப்பரப்புக்குமேல் வரவேண்டியது அவசியமாகிறது. மேலும் நீருக்கடியில் கப்பலின் வேகம் மிகக் குறைவாக இருக்கும். ஆனுல் அணுஉலைகளை உபயோகித்தால் இக்குறைபாடுகளெல்லாம் சூரியனைக் கண்ட பனிபோல விலகிவிடுகின்றன. அணுஉலை செயல்பட ஆக்ஸிஜன் தேவை இல்லை. ஆகையால் அது கடலுக்கடியிலும் திறம்பட இயங்கித் திறன் அளிக்கவல்லது. அணுஉலை எரிபொருள் நீண்டகாலம் தொடர்ந்து திறனளிக்கும். மேலும் எரிபொருள் அணுஉலைக்குள்ளேயே அடங்கிவிடுகிறது. [பிற கப்பல்களில் டீஸல் எண்ணெயைச் சேமித்து வைக்க நிறைய இடம் தேவைப்படுகின்றது.] ஆகையால் ஏனைய இன்றியமையாத பொருள்களைச் சேமித்து வைக்க நிறைய இடம் கிடைக்கின்றது. இத்தகைய நீர்மூழ்கிக் கப்பல்கள் நீண்டகாலம் துறைமுகத்திற்கு வராமல் கடலுக்கடியிலேயே சஞ்சரிக்க முடியும். அவற்றை நீருக்கடியிலும் வேகமாகச் செலுத்தமுடியும்.

யு. எஸ். எஸ். ஸ்கேட்[1] என்ற நீர்மூழ்கிக் கப்பல் ஒரு முறை எடுத்துக் கொண்ட எரிபொருளோடு 120,000 மைல்கள் பயணம் செய்தது. இந்த தூரம் உலகத்தின் சுற்றளவுபோல் ஐந்து மடங்காகும். டிரிடன்[2] என்ற நீர்மூழ்கிக் கப்பல் நீருக்கு மேல் ஒரு முறைகூட வராமலேயே உலகத்தைச் சுற்றிவந்திருக்கிறது. நீர்மூழ்கிக் கப்பல்களைத் தவிர நீர்ப்பரப்பில் செல்லும் கப்பல்களிலும் அணுஉலையைப் பயன்படுத்த முடியும். இத்தகைய கப்பல்கள் வேகமாகச் செல்லக்கூடியவை. எரிபொருள் அணுஉலைக்குள்ளேயே அடங்கிவிடுவதால் இத்தகைய கப்பல்களில் சரக்கு வைக்கவும், பிரயாணிகள் தங்கவும் நிறைய இடமிருக்கும். அமெரிக்காவின் முதல் வியாபார அணுஉலைக் கப்பலான என். எஸ். ஸவன்னு[3], 10000 டன் சரக்கையும், 60 பிரயாணி களையும் ஏற்றிச் செல்லக்கூடியது. மீண்டும் எரிபொருள் தேவைப் படும் முன் அது 3,50,000 மைல்கள் செல்லக்கூடியது. அப்பயணத்தில் சுமார் 60 கிலோகிராம் எடையுள்ள *U*–235ஐ உபயோகிக்கும் என்று கருதப்படுகின்றது. இவை தவிர பல கப்பல்களிலும் விமானந் தாங்கிக் கப்பல்களிலும் அணுஉலைகள் உபயோகிக்கப்படுகின்றன. இவற்றில் உபயோகிக்கப்பட்டுள்ள அணுஉலைகள் பெரும்பாலும் அழுத்தநீர் அணுஉலை வகையைச் சார்ந்தவை.

வானவூர்திக்கு அணுசக்தி

அணுவினின்றும் வெப்பசக்தியைப் பெறமுடியும் என்று அறிந்த நாள் முதல் அணுசக்தியைப் பல ஆக்க வேலைகளுக்குப் பயன்படுத்து வது பற்றி இடைவிடாது ஆராய்ச்சி நடந்து வருகின்றது. இவற்றுள், ஆகாயவிமானத்தை இயக்க அணுஉலையை உபயோகிப்பது பற்றிய ஆராய்ச்சி முக்கியமானதொன்ருகும். ஆனல் இம்முயற்சியில் வெற்றி காண்பதற்கு முன் பல பிரச்சினைகளையும் இடர்ப்பாடுகளையும் சமாளிக்க வேண்டியது அவசியமாகிறது. இம்முயற்சியில் இதுவரை வெற்றி கிட்டாததே இப்பிரச்சினைகள் எத்துணைக் கடினமானவை என்பதற்குச் சான்ருகும்.

இவற்றுள் முக்கியமான பிரச்சினை விபத்தால் ஏற்படும் விளைவு களாகும். எண்ணெய் எஞ்சின்களால் இயங்கும் விமானம் விபத்துக் குள்ளானல் ஏற்படும் விளைவுகளைவிட அணுஉலையால் இயங்கும் விமானம் விபத்துக்குள்ளானல் ஏற்படும் பின் விளைவுகள் மிகவும் அபாயகரமானவை. ஏனெனில் விபத்துக்குள்ளான விமானத்தினின்றும் வெளிப்படும் கதிரியக்கப் பொருள்கள் சுற்று வட்டாரத்தில் பல மைல்கள் தூரத்திற்குச் சிதறி விழும். இவை அங்கு வசிக்கும் மக்களுக்கும் ஏனைய உயிரினங்களுக்கும் தீங்கு விளைவிக்க வல்லவை. இதனல்

---

1. U. S. S. Skate 2. Triton 3. N. S. Savannah.

ஏற்படும் தீங்குகள் பற்றிப் பிறிதோர் அத்தியாயத்தில் விளக்கப்படும். மேலும் அணுஉலை தடுப்பின் மிகுதியான கனமும் சமாளிக்க வேண்டிய பிரச்சினைகளில் ஒன்ருகும். பெட்ரோல் எஞ்சின்களால் இயங்கும் விமானம் பயணத்தைத் துவங்கும்போது அதன் மொத்த எடையில் 50 சதவிகிதம் எரிபொருளாகிய எண்ணெயின் எடையாகும். பயணத்தின் முடிவில் இந்த எரிபொருளின் பெரும்பகுதி உபயோகிக்கப்பட்டு விடுவதால் விமானத்தின் எடை பாதியாகக் குறைந்துவிடும். ஆகையால் 'கீழே இறங்கும் அமைப்பு'[1] இந்தக் குறைந்த எடையைத் தாங்கத் தக்கதாக இருந்தால் போதுமானது. ஆனல் அணுஉலையில் செலவழியும் எரிபொருளின் எடை சில கிலோகிராம்களே ஆகும். ஆகையால் பயணத்தின் முடிவில் விமானத்தின் எடை கிட்டத்தட்டப் பயணம் தொடங்கும்போது இருந்த எடைக்குச் சமமாக இருக்கும். ஆகையால் கீழிறங்கும் அமைப்பு இந்த மொத்த எடையையும் தாங்கக் கூடியதாக இருக்கவேண்டும். விமானத்தின் மொத்த எடையில் கிட்டத்தட்ட 60% அணுஉலையின் எடையாகும். ஆனல் இதன் கன அளவு விமானத்தின் மிகச்சிறிய பகுதியே ஆகும். ஆகையால் அணுஉலையை விமானத்தின் நடுமையத்தில் புவிஈர்ப்புத்தானம்[2] சரியாக அமையுமாறு அமைக்க வேண்டியது மிகமிக அவசியம். இதற்குத் தகுந்தவாறு விமானச் சட்டத்தை[3] டிஸைன்* செய்வது சிரமமான காரியம். மேலும் அதிக எடையைத் தாங்கக் கூடியவையும் அதிக நீளமானவையுமான ஓடுபாதைகள்[4] தேவை.

இத்தனை பிரச்சினைகள் இருந்தாலும் அணுஉலையை உபயோகிப்பதால் ஒரு முக்கிய அனுகூலம் உண்டு. அணுஉலையின் எரிபொருள் நீண்டகாலம் பயன் தரக்கூடியதாகையால் இத்தகைய விமானங்கள் நீண்டதூரப் பயணத்திற்கு ஏற்றவை. அணுசக்தியினல் இயங்கும் வானவூர்தியில் கீழிறங்காமல் இவ்வுலகைப் பலமுறை சுற்றிவர இயலும். ஆனல் ஏனைய விமானங்களால் இது முடியாது. அவற்றிலுள்ள எரிபொருளைக்கொண்டு ஒரு குறிப்பிட்ட தூரம்தான் பயணம் செய்ய முடியும். அதன் முடிவில் எரிபொருள் தீர்ந்துபோவதால் விமானம் கீழிறங்க வேண்டியது அவசியமாகிறது. இத்தகைய அனுகூலங்களால் விமானப்படையில் அணுசக்தி விமானங்கள் பெரிதும் பயன்படத் தக்கவை.

---

* design—ஒரு குறிப்பிட்ட குறிக்கோளை அடைவதற்குத் தேவைப்படும் சாதனங்களையும், அவற்றின் பரிமாணங்களையும், அமைப்பையும், மற்றும் சாதனங்களை அமைப்பதற்கு ஏற்ற பொருள்களையும் நிர்ணயித்துத் திட்டமிடுவதே 'டிஸைன்' ஆகும்.

1. landing gear
2. centre of gravity
3. air frame
4. runways.

விண்வெளிப் பயணத்திற்கு அணுஉலை

விஞ்ஞான அறிவை உறுதுணையாகக் கொண்டு இயற்கையைத் தன் வசப்படுத்தும் முயற்சியில் மனிதன் அடைந்துள்ள அளவிடற்கரிய வெற்றி, இந்த இருபதாம் நூற்றுண்டின் தனிச்சிறப்புகளில் ஒன்ருகும். அணுவைப் பிளந்து சக்தியை வெளிப்படுத்தும் முயற்சியில் வெற்றி பெற்ற மனிதன் இன்று விண்வெளியை வெற்றி காணும் முயற்சியிலும் படிப்படியாக முன்னேறி வருகிருன். பூமியின் ஈர்ப்பு விசையை வென்று மனிதனை விண்வெளிக்குக் கொண்டு செல்லும் வாகனம் 'ராக்கெட்' ஆகும். அணுஉலையை உபயோகித்து ராக்கெட்டுகளை இயக்கும் முயற்சி வெகு தீவிரமாக நடந்து வருகிறது.

காற்றடைத்த பலூனிலிருந்து காற்று வெளியேறும்போது பலூன் எதிர்த் திசையில் செல்வதை அனைவரும் கண்டிருப்பீர்கள். ராக்கெட்டுகளும் இதே தத்துவத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டுதான் செயல்படுகின்றன. மூக்குக் குழாய்[1] வழியாகச் சூடான வாயுக்கள் வேகமாக வெளியேறும்போது ராக்கெட்டு எதிர்த் திசையில் செல்கிறது. ஆகையால் ராக்கெட்டுகளுக்கு உந்து விசை அளித்து இயக்குபவை இவ்வாறு சூடாக்கப்பட்ட வாயுக்களே. இவையே உந்து பொருள்கள்[2] என்று கூறப்படும். வாயுக்களின் உஷ்ணநிலை எவ்வளவுக் கெவ்வளவு அதிகமோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு அவற்றின் வெளியேறு வேகம்[3] அதிகமாக இருக்கும். உதாரணமாக திரவ நிலையில் உள்ள ஹைடிரஜனை திரவ நிலையிலுள்ள ஆக்ஸிஜனேடு கலந்து எரியச் செய்தால் 3000°C உஷ்ண நிலையையும், அதன் பயனுய் செகண்டிற்கு 13,000 அடி வெளியேறு வேகத்தையும் அடையலாம். ஹைடிரஜனுக்குப் பதிலாக திரவ நிலையிலுள்ள ஃபுளோரினை[4] உபயோகித்தால் 4000°C உஷ்ணநிலையையும், எனவே விளுடிக்கு 14,000 அடி வேகத்தையும் அடையலாம். இவ்வாறு வாயுக்களை எரியச் செய்வதற்கு ஆக்ஸிஜன் தேவைப்படுகின்றது. இந்த ஆக்ஸிஜனையும் ராக்கெட்டிலேயே திரவ நிலையில் எடுத்துச் செல்வது அவசியமாகிறது. ஆகையால் ராக்கெட்டில் எடுத்துச் செல்லக்கூடிய எரிபொருள், ஆக்ஸிஜன் ஆகியவற்றின் அளவைப் பொறுத்தே ராக்கெட்டின் வீச்சு[5] [ராக்கெட் செல்லக்கூடிய அதிகபட்ச தூரம்] அமைகிறது.

ஆனல் அணுஉலை ராக்கெட்டுகளில் ஆக்ஸிஜனை எடுத்துச் செல்ல வேண்டிய அவசியமில்லை. ஏனென்றல் முன்பே கூறப்பட்டது போல் அணுஉலை செயல்பட ஆக்ஸிஜன் தேவையில்லை. திரவ நிலையில் சேமித்து வைக்கப்பட்டுள்ள ஹைடிரஜன் போன்ற உந்துபொருள்களை அணுஉலை வழியாகப் பாய்ச்சிச் சூடாக்கி ராக்கெட்டைச் செலுத்தலாம். ஆகையால் ஆக்ஸிஜனுக்குப் பதிலாக அதிக அளவில் உந்துபொருளை

---

1. nozzle 2. propellants 3. exhaust velocity
4. fluorine 5. range.

எடுத்து செல்ல முடியுமாதலால் இத்தகைய ராக்கெட்டுகளின் வீச்சு அதிகமாக இருக்கும்.

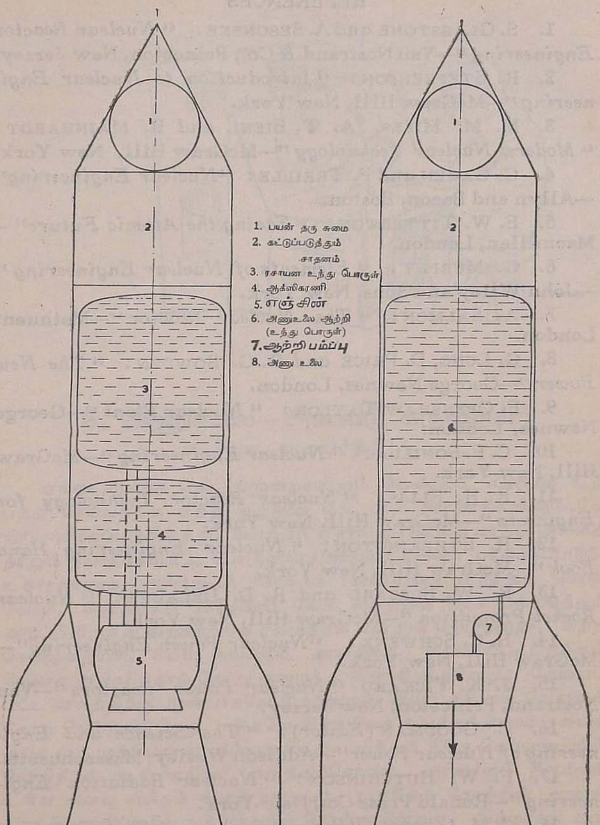
ராக்கெட்டுகளில் உபயோகிக்கும் உந்து பொருள் குறைந்த மூலக் கூற்று எடை[1] உடையதாய் இருக்கவேண்டும். உந்து பொருளை எரித்து ராக்கெட்டை இயக்குவதாயிருந்தால் உந்து பொருள் சிறந்த எரியும் தன்மை உடையதாயும் இருக்க வேண்டியது அவசியம். ஆனால் அணு உலை ராக்கெட்டில் உபயோகிக்கப்படும் உந்து பொருளுக்கு இந்தத் தன்மை அவசியமில்லை. ஆகையால் குறைந்த மூலக் கூற்றெடை உள்ள பொருளை, அதன் எரியும் தன்மை பற்றிக் கவலைப் படாமல் உபயோகிக்கலாம். ஒரு சாதாரண ராக்கெட்டின் அமைப்பையும் அணு உலை ராக்கெட்டின் அமைப்பையும் படம் 5-10இல் காண்க.

அணு உலை ராக்கெட்டில் உந்து பொருளாகச் சிறந்த முறையில் பயன் தரக் கூடியவை ஹைடிரஜன் போன்ற லேசான பொருள்களாகும். திரவ நிலையிலுள்ள ஹைடிரஜன் அணு உலைக்குள் செலுத்தப் பட்டு, சூடாக்கப்பட்டு, பின் மூக்குக்குழாய் வழியாக வேகமாக வெளியேற்றப்படுகிறது. உந்து பொருளின் வெளியேற்று வேகம் அதன் உஷ்ண நிலையைப் பொறுத்திருப்பதால் அணு உலை மிக உயர்ந்த உஷ்ண நிலையில் [3000°C அல்லது 4000°Cஇல்] செயல்பட வேண்டும். ஆகையால் அணு உலையை உருவாக்கப் பயன்படுத்தப்படும் பொருள்கள் இந்த உஷ்ண நிலையால் பாதிக்கப்படாமல் இருத்தல் அவசியம். ஹைடிரஜனை உபயோகிக்கும் அணு உலை ராக்கெட் எஞ்சின் அமைப்பது பற்றிய ஆராய்ச்சி அமெரிக்காவில் நடந்து வருகிறது. இந்த ஆராய்ச்சித் திட்டத்திற்கு ரோவர்[2] என்று பெயர்.

மேலே கூறியபடி அணு உலையில் உந்து பொருளைச் செலுத்திச் சூடாக்கினால் அணு உலைப் பொருள்களால் தாங்கக்கூடிய உஷ்ண நிலையைப் பொறுத்தே உந்து பொருளின் வெளியேற்று வேகம் அமைகிறது. அணு உலைகளில் பிளவு சக்தியானது நியூட்ரான்கள், பிளவு விளை பொருள்கள் இவை வெளியிடும் ஆல்ஃபாத்துகள்கள், பீட்டாத்துகள்கள் முதலியவற்றின் இயங்கு சக்தி வடிவத்தில் உள்ளது என்றும் இந்த சக்தியே பிறகு வெப்ப சக்தியாக மாற்றப்படுகிறது என்றும் முன்பே கண்டோம். இவை அனைத்தும் குறைந்த உஷ்ண நிலையும் மிக்க வேகமும் உடையனவாகும். எனவே இவற்றையே உந்து பொருளாக ஒன்று திரட்டி மூக்குக் குழாயின் மூலம் வெளியேறச் செய்தால் குறைந்த உஷ்ண நிலையிலேயே ராக்கெட் அதிகமான வேகத்தை அடைய முடியும். ஆனால் இந்தக் கருத்தைச் செயல்படுத்தப் பல தடைகளைத் தகர்க்க வேண்டும்; பல இடையூறுகளைக் களைய வேண்டும்; மேலும் மிகத் தீவிரமான ஆராய்ச்சியும் அவசியம்.

---

1. molecular weight
2. Rover.



ரசாயன உந்துபொருள் ராக்கெட்

அணுஉலை உந்தும் ராக்கெட்

படம் 5-10. சாதாரண ராக்கெட்டும் அணுஉலை ராக்கெட்டும்

REFERENCES

1. S. GLASSTONE *and* A. SESONSKE: "*Nuclear Reactor Engineering*"—Van Nostrand & Co., Princeton, New Jersey.

2. R. STEPHENSON: "*Introduction to Nuclear Engineering*"—McGraw Hill, New York.

3. M. M. MILLS, A. T. BIEHL *and* R. MAINHARDT: "*Modern Nuclear Technology*"—McGraw Hill, New York.

4. G. GAHEN *and* P. TREILLE: "*Nuclear Engineering*" —Allyn and Bacon, Boston.

5. E. W. TITTERTON: "*Facing the Atomic Future*"—Macmillan, London.

6. G. MURPHY: "*Elements of Nuclear Engineering*" —John Wiley and Sons, New York.

7. A. SALMON: "*The Nuclear Reactor*"—Methuen, London.

8. G. LUNG, D. PRICE *and* R. G. SOWDEN: "*The New Power*"—George Newnes, London.

9. E. OPENSHAW TAYLOR: "*Nuclear Plant*"—George Newnes, London.

10. C. F. BONILLA: "*Nuclear Engineering*"—McGraw Hill, New York.

11. R. H. ELLIS: "*Nuclear Reactor Technology for Engineers*"—McGraw Hill, New York.

12. H. ETHERINGTON: "*Nuclear Engineering Hand Book*"—McGraw Hill, New York.

13. R. W. BUSSARD *and* R. D. DELAUER: "*Nuclear Rocket Propulsion*"—McGraw Hill, New York.

14. H. C. SCHWENK: "*Nuclear Power Engineering*"—McGraw Hill, New York.

15. J. K. PICKARD "*Nuclear Power Reactors*"—Van Nostrand, Princeton, New Jersey.

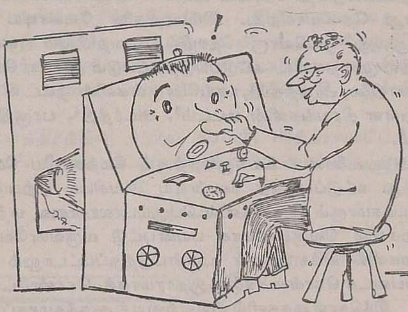
16. C. GOODMAN (*Editor*): "*The Science and Engineering of Nuclear Power*"—Addison Wesley, Massachusetts.

17. F. W. HUTCHINSON: "*Nuclear Radiation Engineering*"—Ronald Press Co., New York.

18. A.M. JACOBS: "*Basic Principles of Nuclear Science and Reactors*"—Van Nostrand, Princeton, New Jersey.

19. R.L. LOFTNESS: "*Nuclear Power Plants*"—McGraw Hill, New York.

20. D. VOSKOBOINIK: "*Nuclear Power*"—Foreign Languages Publishing house, Moscow.



6. அணுஉலே—அளவிடு கருவிகள்[1]

[ஹா. ராமமூர்த்தி]

எல்லா ஆக்கத் தொழில்முறைகளிலும் வேண்டிய பொருளே உற்பத்தி செய்வதற்கு ஏற்ற சூழ்நிலே ஒரு சில காரணங்களினுலேயே நிர்ணயிக்கப்படுகின்றது. இவற்றில் ஏதாவது ஒன்றை மாற்றி அமைத்தாலும் தயாரிக்கப்பட்ட பொருளின் பண்புகள் மிகவும் பாதிக்கப்படும். உதாரணமாக, அரிசியைச் சோருகச் சமைப்பதை எடுத்துக் கொள்வோம். கொதிநீரில் அரிசியை வேக வைத்துத் தக்க பக்குவத்தில் அடுப்பிலிருந்து இறக்குவதே சமைத்தல் என்னும் செய்முறை[2]. இந்த செய்முறையில், வேக வைக்கும் காலத்தை, தேவைப்பட்டதற்கும் மேலாக அதிகரித்தால் சோறு குழைந்து வீணுகி விடுகிறது; தேவைப்பட்ட காலத்திற்கு முன்பாகவே இறக்கினுல் அரிசி சரியாக வேகாமல் சோறு கெட்டுவிடுகிறது. ஆகவே இந்த வேக வைக்கும் காலம் சமைத்தலில் ஒரு முக்கியமான அம்சமாகிறது. மற்றும் இதே செய்முறையில் கொதிநீரின் உஷ்ணநிலே[3], எடுத்துக்கொண்ட அரிசிக்கும் நீருக்கும் உள்ள அளவு விகிதம் போன்றவையும், தயாரித்த சோற்றின் குணங்களே நிர்ணயிப்பதில் முக்கிய பங்கு கொள்ளுகின்றன. இம்மாதிரி ஒரு செய்முறையில், எந்தெந்த விஷயங்களே மாற்றி அமைப்பதால், ஆக்கப்படும் பொருளின் பண்புகள் பாதிக்கப்படுகின்றனவோ, அந்தந்த விஷயங்களே பௌதிக மாறிகள்[4] எனலாம். ‘மாறிகள்’ என்று

---

1. measuring instruments 2. process 3. temperature
4. physical variables

அழைக்கப்படுவதால் இவை அளவில் மாறும் இயல்பைக் கொண்டவை என்பது தெளிவாகிறது. இம்மாறிகளே வேண்டிய மாதிரி கட்டுப் படுத்துவது ஒவ்வொரு தொழில் முறையிலும் முக்கியமானதாகும். தொழில் முறைகளில் கட்டுப்படுத்தப்படும் முக்கிய பௌதிக மாறிகள் : உஷ்ண நிலை, அழுத்தம்[1], பாய்பொருள்களின் ஓட்ட வீதம்[2], கொள்கலன் களிலுள்ள திரவங்களின் மட்டம்[3], அடர்த்தி[4], பாகுநிலை[5] போன்றவை ஆகும்.

அணுஉலையை இயக்குவதற்கும் மேற்கூறிய பௌதிக மாறிகளை அளந்து கட்டுப்படுத்த வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது. இதற்கு உபயோகமாகும் கருவிகளில் பெரும்பாலானவை மற்றப் பொறியியல் துறைகளில் வெகுகாலமாக பயன்பட்டு வருவனவேயாகும். பற்பல துறைகளில் இக்கருவிகள் பயன்படுத்தப்பட்டாலும் இவை ஒரு சில அடிப்படைக் கொள்கைகளை ஆதாரமாகக் கொண்டே வேலை செய்கின் றன. இக்கொள்கைகளில் சிலவற்றைச் சுருக்கமாகப் பார்ப்போம்.

உஷ்ண நிலை

இது எல்லாத் தொழில் முறைகளிலும் அளக்கப்பட்டு கட்டுப் படுத்தப்படுகிறது. எனவே அளக்கும் முறைகளும் எண்ணிறந்தவை யாக இருக்கின்றன. சில முக்கிய முறைகள் பின்வருமாறு :

உஷ்ண நிலைக்கு ஏற்றவாறு பொருள்களின் நீள அகல உயர அளவுகள் மாறுகின்றன. நீட்டல் அளவில் ஏற்படும் மாற்றத்தைக் கொண்டு உஷ்ணநிலையை அறியலாம். இதை அடிப்படையாகக் கொண்டே உடல் உஷ்ணநிலையை அளக்கிறோம். உடல் உஷ்ண நிலைக்குத் தகுந்தவாறு ஜுரமானியில்[6] பாதரசம் விரிவடைகிறது[7]. இந்த விரிவை அளந்து, உடல் உஷ்ண நிலையை அறிகிறோம். பாதரச விரிவைப்போலவே உலோகக் கம்பிகளின் நீட்சியையும்[8] அளந்து உஷ்ண நிலையை அளக்கலாம்.

மற்றொரு முறையில் இரண்டு வேறுபட்ட உலோகங்களாலான பட்டைகள் படம்6-1 இல் காட்டியதுபோலப் பிணைக்கப்படுகின்றன. உலோகம் '1'-ம் உலோகம் '2'-ம் வெப்பத்தால் வெவ்வேறு அளவு விரியும் தன்மையன. ஆனால் ஒன்றாகப் பிணைக்கப்பட்டிருக்கும். இவை, வெவ்வேறு நீட்சியை அடையும்போது படத்தில் காட்டி யுள்ளதுபோல வளைகின்றன. இவ்வாறு வளைவுறும் ஈருலோகப் பட்டைகளின்[9] வளைவை[10] அளப்பதால் உஷ்ண நிலையை அறியலாம்.

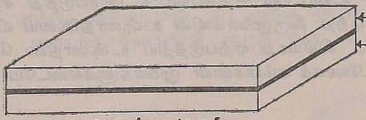
மூடிய ஒரு பாத்திரத்தில் உள்ள வாயுப்பொருளை உஷ்ணப்படுத்தி னால், உஷ்ண நிலை அதிகரிக்க அதிகரிக்க அதன் அழுத்தமும் அதிகரிக்

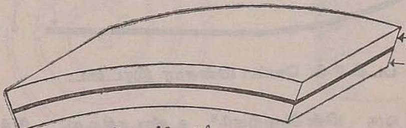
---

1. pressure 2. fluid flowrate 3. liquid level 4. density 5. viscosity 6. clinical thermometer 7. expands 8. elongation 9. bimetal strips 10. curvature.

கின்றது. அழுத்தத்தில் ஏற்படும் மாற்றம் உஷ்ணநிலையில் ஏற்படும் மாற்றத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். இத்தத்துவத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டு அழுத்த மாற்றத்தை அளந்து உஷ்ணநிலையை அளக்கலாம். இதற்கு முக்கியமாக உபயோகப்படும் வாயுக்கள் நைட்ரஜன், ஹைடிரஜன், காற்று, கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு, ஆக்ஸிஜன், ஹீலியம் முதலியன.

மூடிய ஒரு பாத்திரத்தில், சிறிது திரவம், அத்திரவமட்டத்திற்கு மேல் அதன் ஆவி[1], இவை மட்டும் இருந்தால், ஆவியின் அழுத்தம்





படம் 6-1. ஈருலோகப் பட்டை

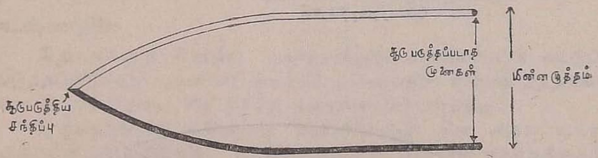
உஷ்ணநிலையைப் பொறுத்து மாறும். அதாவது ஒவ்வொரு உஷ்ண நிலைக்கும் ஒரு குறிப்பிட்ட ஆவியழுத்தம்[2] உண்டு. ஆகவே மூடிய ஒரு சிறு பாத்திரத்தில் எளிதில் ஆவியாகும் பொருள்களை அடைத்து, எந்த இடத்தில் உஷ்ணநிலை தெரியவேண்டுமோ, அவ்விடத்தில் இச்சிறு பாத்திரத்தை அமைத்து, அதில் ஏற்படும் ஆவியழுத்தத்தை அளந்து, உஷ்ணநிலையை அறியலாம். பொதுவாக, ஸல்ஃபர்-டை-ஆக்ஸைடு[3], மீதைல் குளோரைடு[4], ஈதர்[5], ஈதைல் ஆல்கஹால்[6], டொலுவீன்[7] போன்ற திரவங்கள் இவ்வாறு பயன்படுகின்றன.

---

1. vapour 2. vapour pressure 3. sulphur-dioxide 4. methyl chloride 5. ether 6. ethyl alcohol 7. toluene.

மின்கடத்திகளின்[1] மின்தடை[2], அவற்றின் உஷ்ணநிலையைப் பொறுத்து மாறுகின்றது. இந்த உண்மையைப் பயன்படுத்தி, மின் தடையை அளந்து, உஷ்ணநிலையை அளவிடும் கருவிகள் பல உபயோகத்தில் உள்ளன. முக்கியமாக, நிக்கல்[3], தாமிரம்[4], பிளாட்டினம்[5] இவற்றால் மின்தடைக் கம்பிகள் செய்யப்படுகின்றன.

மேற்கூறிய முறைகளைவிட அதிக அளவில் கையாளப்படும் முறை வெப்ப மின்சாரம்[6] என்னும் கொள்கையைப் பயன்படுத்துகிறது. இரு வேறுபட்ட உலோகங்களாலான கம்பிகளின் முனைகளை உருக்கியோ அல்லது முறுக்கியோ ஒன்றுசேர்ப்போம். (படம் 6-2). இவ்வாறு ஒன்று சேர்த்த இடத்தில் உண்டான சந்திப்பை[7]ச் சூடுபடுத்தி சந்திப்பின் உஷ்ணநிலையை, மற்ற இருமுனைகளின் உஷ்ணநிலையை விட அதிகமாகச் செய்வோம். இவ்வாறு ஏற்படுத்திய உஷ்ணநிலை வேறுபாடு, இருக்கும்வரை, உலோகக் கம்பிகளின் முனைகளுக்கிடையே படத்தில்



படம் 6-2. வெப்ப மின்சார இரட்டை

காட்டியவாறு ஒரு **மின்அழுத்தம்**[8] உண்டாகிறது. இந்த மின் அழுத்தம், சூடுபடுத்தப்பட்ட சந்திப்பின் உஷ்ணநிலைக்கும் மற்ற முனைகளின் உஷ்ணநிலைக்கும் உள்ள வித்தியாசத்திற்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும். ஆகவே இந்த மின்அழுத்தத்தை அளந்து சூடுபடுத்தப்படும் சந்திப்பின் வெப்பநிலையை அறியலாம். இவ்வாறு இணைக்கப்பட்ட உலோகக் கம்பிகளை வெப்பமின்சார இரட்டை[9] என அழைக்கலாம். உபயோகத்தில் இருந்துவரும் வெப்ப மின்சார இரட்டைகளாவன: **இரும்பு—கான்ஸ்டன்டன்**[10], **தாமிர—கான்ஸ்டன்டன்**, **குரோமல்**[11]**—அலுமல்**[12], **பிளாட்டினம்—பிளாட்டின ரோடிய உலோகக் கலவை** முதலியன. கான்ஸ்டன்டன், குரோமல், அலுமல் என்பன உலோகக் கலவைகளின் பெயர்களாகும்.

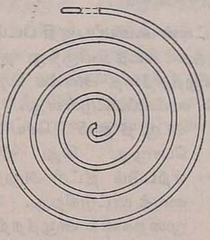
---

1. electrical conductors 2. electrical resistance 3. nickel 4. copper 5. platinum 6. thermoelectricity 7. junction 8. electrical pressure or potential difference 9. thermo-couple 10. constantan 11. chromel 12. alumel.

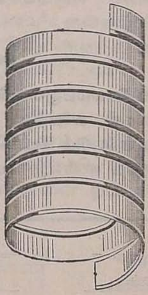
அழுத்தம்

உஷ்ணநிலை போன்றே முக்கியம் வாய்ந்த பௌதிக 'மாறி' அழுத்தம் ஆகும். சில குறிப்பிட்ட வடிவம்கொண்ட உணர் கருவிகள்[1] மீது அழுத்தம் செயல்படுகையில் உணர்கருவிகளின் சில பகுதிகள் நகருகின்றன. இந்த நகர்வின்[2] அளவு, அழுத்தத்தைப் பொறுத்து உள்ளதால் செயல்படும் அழுத்தத்தை அளக்கமுடிகின்றது. அழுத்த உணர்கருவிகளில் முக்கியமானவை போர்டன் குழல்[3], நுண்தகடு[4], துருத்தி[5] என்பவையாம்.

போர்டன் குழல் என்பது ஒரு நீள்வட்டக்[6] குறுக்கு வெட்டுக்[7] கொண்ட குழல். இக்குழலின் ஒரு முனை மூடப்பட்டிருக்கும். இம் முனையை மையமாகக்கொண்டு குழல் ஒரு மட்டச்சுருளாகவோ[8]



படம் 6-3. மட்டச்சுருள்



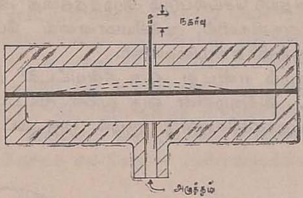
படம் 6-4. நீள்சுருள்

அல்லது நீள்சுருளாகவோ[9] சுருட்டப்பட்டு இருக்கும். (படம் 6-4) திறந்த முனை வழியாகக் குழலினுள் அழுத்தத்தைச் செலுத்தும்போது சுருள் நேராக நீளமுற்படுகிறது. இதை ஓர் உதாரணம் கொண்டு விளக்கலாம். தோட்டச் செடிகளுக்குத் தண்ணீர் பாய்ச்ச உபயோகமாகும் ரப்பர் குழாயைப் பார்த்திருக்கலாம். இந்த ரப்பர் குழாய் நேராக இல்லாமல் வளைந்து நெளிந்து உள்ளதாக வைத்துக்கொள்வோம். தண்ணீரைத் திறந்துவிட்டவுடன் ரப்பர் குழாய் உயிர்பெற்றது போல் நெளிந்து நகர்வதைக் காணலாம். இதன் காரணம் வளைந்த இடங்களில் நீள்வட்டமாக உள்ள குறுக்குவெட்டு தண்ணீரின் அழுத்தத்தால், வட்ட

1. sensing elements 2. movement 3. Bourden tube 4. diaphragm 5. bellows 6. ellipse 7. cross-section 8. spiral 9. helix.

வடிவத்தை அடைவதே. இந்த உண்மையே போர்டன் குழலிலும் பயன்படுகிறது. திறந்தமுனை திரும்பும் கோணத்தை அளந்து அழுத்தத்தை அறியலாம்.

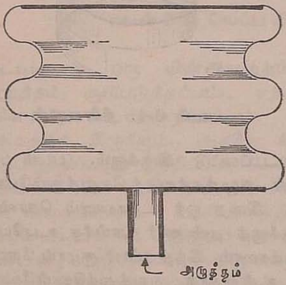
நுண்தகடு என்பது, உலோகம் அல்லது ரப்பர் போன்றவற்றால் ஆன வளையக்கூடிய மெல்லிய தகடு. இதன் ஒரு பக்கத்தில்,



படம் 6-5. நுண்தகடு

அழுத்தம் செயல்படுகையில் நுண்தகட்டின் மையப்பகுதி படம் 6-5 இல் காட்டியவாறு வளைந்து முன் இருந்த இடத்திலிருந்து நகர்கிறது. இவ்வாறு ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி அழுத்தத்தை அளக்க உதவுகிறது.

துருத்தி என்பது படம் 6-6இல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதனுள் அழுத்தம் செயல் புரியும் பொழுது இது நீள்கிறது; ஏற்படும் நீட்சி அழுத்த அளவைக் காட்டுகிறது. வேறு சில முறைகளில் அழுத்தத்தை அளவிட அந்த அழுத்தத்தைத் தாங்கக்கூடிய திரவ ஸ்தம்பத்தின்[1] உயரம் அளக்கப்படுகிறது. இந்த முறையிலேயே காற்று மண்டலத்தின் அழுத்தத்தை அளக்கும் பாரமானி[2] செயல்புரிகிறது. இதில் பாதரச ஸ்தம்பத்தின் உயரம் காற்றின் அழுத்தத்திற்குத் தக்கவாறு மாறுகிறது.



படம் 6-6. துருத்தி

பாய்பொருள் ஓட்ட வீதம்

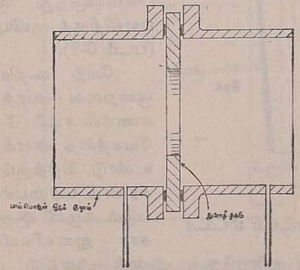
பாய்பொருள் என்பது திரவப் பொருளையோ வாயுப்பொருளையோ குறிக்கும். இவற்றை குழாய்களின் வழியாக ஓரிடத்திலிருந்து மற்

1. liquid column 2. barometer.

ரொரு இடத்திற்கு பாய்ச்ச முடியுமாதலால் இவை இப்பெயரால் அழைக்கப்படுகின்றன. ஓட்டவீதம் என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட கால அளவில் எவ்வளவு பாய்பொருள் [எடை அல்லது கனஅளவு] ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தைக் கடக்கின்றது என்பதைக் குறிக்கும். உதாரணமாக நீரின் ஓட்டத்தை ஒரு நிமிஷத்திற்கு இவ்வளவு லிட்டர்கள் அல்லது இவ்வளவு கிலோகிராம்கள் என்று குறிப்பிடலாம்.

{ பாய்பொருள் ஓட்டவீதம் (செகண்டிற்கு கன சென்டி மீட்டர்கள்) } = { குறுக்குவெட்டுப் பரப்பளவு (சதுர சென்டி மீட்டர்) } × { பாய்பொருளின் வேகம் (செகண்டிற்கு சென்டி மீட்டர்) }

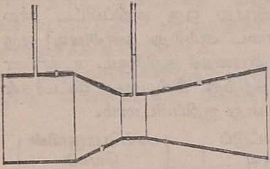
பாய்பொருள் ஓடும் குழாயின் குறுக்குவெட்டுப் பரப்பளவில் மாற்றம் ஏற்படும்பொழுது, அதன் அழுத்தத்திலும் வேகத்திலும் மாற்றங்கள் ஏற்படுகின்றன. ஓடும் பரப்பளவு[1] குறையும்பொழுது அழுத்தம் குறையும்; வேகம் அதிகரிக்கும். இந்த அழுத்த மாற்றமும் வேக மாற்றமும் ஒன்றுக்கொன்று சம்பந்தப்பட்டவை. ஆகவே அழுத்த மாற்றம் தெரிந்தால் வேக மாற்றத்தைக் கணக்கிடலாம். இதிலிருந்து பாய்பொருள் ஓட்டவீதத்தை அறியமுடியும். ஆகவே பாய்பொருள் ஓடும் பாதையின் குறுக்குவெட்டுப் பரப்பளவில் மாற்றம் செய்து, ஏற்படும் அழுத்த மாற்றத்தை [முன்கூறிய பகுதிகளில் சொல்லப்பட்ட முறைகளால்] அளந்து பாய்பொருளின் ஓட்டவீதத்தை அளக்கலாம்.



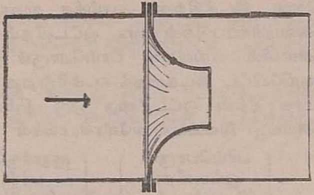
படம் 6-7. துளைத்தகடு

பாய்பொருள் ஓடும் பரப்பளவில் மாற்றம் செய்ய துளைத்தகடு,[2] வென்ச்சுரி,[3] குறுகு குழல்[4] போன்ற உபகரணங்கள் பயன்

1. flow area 2. orifice plate 3. Venturi
4. nozzle (converging).

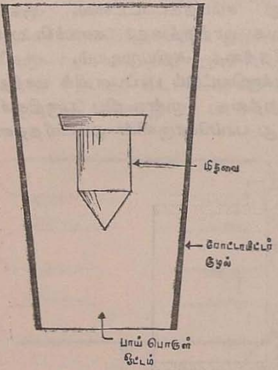


படம் 6-8. வென்ச்சுரி



படம் 6-9. குறுகு குழல்

படுகின்றன. துளைத்தகடு என்பது பாய்பொருள் ஓடும் குழாயினுள் ஓட்டத்திற்குக் குறுக்காக வைக்கப்படும் துளையிடப்பட்ட ஓர் உலோக அல்லது பிளாஸ்டிக் தகடு (படம் 6-7). வென்ச்சுரி என்பது முதலில் குவிந்தும் பிறகு விரிவடைந்தும் உள்ள குறுக்குவெட்டைக்கொண்ட ஒரு பிரத்யேக உருவம் கொண்ட குழாய் (படம் 6-8). முதன் முதலில் வென்ச்சுரி என்பவர் கண்டுபிடித்த தால் அவர் பெயரால் இவ்வுப கரணம் அழைக்கப்படுகின்றது. குறுகு குழல் என்பது அதிக பரப் பளவிலிருந்து குறைந்த பரப் பளவிற்குக் குவியும் ஒரு குழாய் (படம் 6-9).



படம் 6-10. ரோட்டா மீட்டர்

மேற் கூறியபடி அழுத்தக் குறைவை அளந்து வேகத்தைக் கணக்கிடாமல் நேர்முகமாக வேகத்தை அளக்கும் கருவிகளும் உண்டு. இதற்குப் பயன்படும் உப கரணம் டர்பைன்[1] எனக் கூறப் படும் சுழலி ஆகும். [இது மின் சார ஜனனிகளில் உபயோகப் படும் டர்பைன் போன்றதே. ஆனால் அளவில் மிகச் சிறியது.] குழந்தைகள் விளையாடும் காற்றாடி காற்று வேகத்தால் சுழல்வது போன்றே, இந்தச் சுழலியும் பாய்பொருள் வேகத்தால் சுழலுகிறது. சுழ லும் வேகத்தை மின்கருவிகளைக் கொண்டு அளக்கலாம். இதிலிருந்து பாய்பொருளின் வேகத்தையும் அதனால் ஓட்ட வீதத்தையும் அறியலாம்.

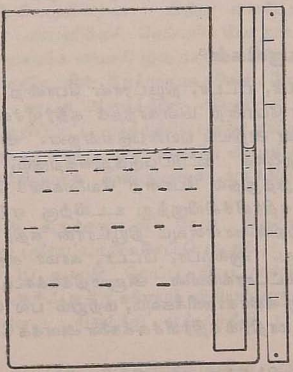
---

1. turbine.

மற்றொரு முறையில் நெட்டுக்குத்தாக[1] நிறுத்தி வைக்கப்பட்டும், கீழிருந்து மேல் செல்கையில் ஒரே சீராக அதிகரிக்கும் பரப்பளவை உடையதுமான, ஒரு குழாய் ஓட்ட வீதத்தை அளக்கப் பயன்படுகிறது. இதற்கு ரோட்டா மீட்டர்[2] எனப் பெயர் (படம் 6-10). இக்குழாயினுள் ஒரு குறிப்பிட்ட உருவம் கொண்ட மிதவையும்[3] உள்ளது. குழாயின் வழியே பாய்பொருள் ஓடும்பொழுது மிதவை மேலே தூக்கப்படுகிறது. ஓட்ட வீதத்திற்கு ஏற்றவாறு மிதவை வெவ்வேறு தானங்களில்[4] நிறுத்தப்படுகிறது. அதாவது ஒவ்வொரு ஓட்ட வீதத்திற்கும் ஒரு குறிப்பிட்ட தானம் உண்டு. ஆகவே மிதவையின் தானத்திலிருந்து ஓட்ட வீதத்தை அறியலாம்.

திரவ மட்டம்

கொள்கலன்களிலும் தொட்டிகளிலும் இருக்கும் திரவங்களின் மட்டத்தை அறிவது பல தொழில் முறைகளில் அவசியமாகிறது.



6-11. திரவமட்டத்தை அளத்தல்

மிகவும் எளிதான முறை கொள்கலத்தின் அடிப்பாகத்தில் இணைத்துள்ள ஒரு கண்ணுடிக் குழல் மூலம் நேரடியாக திரவ மட்டத்தை அறிவது ஆகும் (படம் 6-11). ஆனால் இம்முறை அதிக அழுத்தத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் மூடிய கொள்கலன்களில் உள்ள திரவ மட்டத்தை

1. vertical 2. rotameter 3. float 4. point (position).

அறியப் பயன்படாது. இம்மாதிரியான சந்தர்ப்பங்களில் பயனுகும் சில முறைகளுள் ஒன்றில் ஒரு மிதவை பயன்படுகிறது. இம்மிதவை திரவமட்டத்துடன் ஏறி இறங்குகிறது. நெம்புகோல்[1], சகடை (அல்லது கப்பி)[2] போன்ற உபகரணங்கள் கொண்டு மிதவையின் இடப்பெயர்ச்சி கொள்கலத்திற்கு வெளியில் தெரியுமாறு செய்யப்படுகிறது.

மற்றும் சில முறைகளில் பின்வரும் உண்மை பயன்படுகிறது. கொள்கலத்தின் அடியில் உள்ள திரவத்தின் அழுத்தம், திரவமட்டத் திற்கு மேல் உள்ள அழுத்தத்தைவிட அதிகம். இந்த அழுத்த வித்தி யாசம் திரவமட்டத்தைப் பொறுத்து மாறுகிறது. ஆகவே இந்த அழுத்த வித்தியாசத்தை அளந்து, திரவ மட்டத்தை அறியலாம்.

இதுவரை சொன்ன பௌதிக ‘மாறிகள்’ எல்லாப் பொறியியல் துறைகளிலும் காணப்படும் ‘மாறிகள்’ ஆகும். அணுஉலைத் துறை யில் இவற்றைத் தவிர சில பிரத்யேக ‘மாறி’களையும் அளவிட வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது. உதாரணமாக, நியூட்ரான், ஆல்ஃபா, பீட்டா போன்ற துகள்களை உணர்ந்தறிதல், அவற்றின் வேகம், சக்தி, எண்ணிக்கை இவற்றை அளத்தல் போன்றவைகளைக் கூறலாம்.

கதிர் வீச்சுக் கருவிகள்[3]

இவை ஆல்ஃபா, பீட்டா, நியூட்ரான் போன்ற துகளுருவக் கதிர் வீச்சையும்[4] காமா போன்ற மின்காந்தக் கதிர்வீச்சையும்[5] உணர்ந்து அவற்றின் அளவை அறியப் பயன்படுகின்றன. அணுஉலையிலிருந்து வெளிப்படும் திறனைக் கட்டுப்படுத்துவதற்கும், அணுஉலையைத் தொடங்குதல், நிறுத்துதல் போன்ற வேலைகளைச் செய்வதற்கும், மற் றும் நியூட்ரான் கதிர்வீச்சிலிருந்து உடலிற்கு ஏற்படக்கூடிய தீங்கி லிருந்து காப்பாற்றிக்கொள்ளவும் நியூட்ரான் கதிர் வீச்சை அளத்தல் அவசியம் ஆகிறது. ஆல்ஃபா, பீட்டா, காமா கதிர்வீச்சுகள் அணு உலைச் சுற்று வட்டாரங்களில் அனுமதிக்கக்கூடிய வரம்பிற்குள்[6] உள்ளனவா என்று கண்காணிக்கவும், மற்றும் பல பௌதிக சோதனை களுக்காகவும் இம்மாதிரிக் கதிர்வீச்சுக்களை அளக்க வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது.

எல்லாவிதக் கதிர்வீச்சையும் ஒரே அடிப்படை உண்மை கொண்டே அளக்க முடிகிறது. இதற்கு அயனித்தல்[7] என்ற நிகழ்ச்சியைப்பற்றி முதலில் தெரிந்துகொள்ள வேண்டும்.

அயனித்தல் : அயனி[8] என்பது மின்னேற்றம்[9] கொண்ட துகள் ஆகும். இம்மின்னேற்றம் பாஸிட்டிவ் ஆகவும் இருக்கலாம்; நெகட்டிவ்

---

1. lever 2. pulley 3. radiation instruments 4. particulate radiation 5. electromagnetic radiation 6. permissible limit 7. ionisation 8. ion 9. charge (electric).

ஆகவும் இருக்கலாம். எந்த ஓர் அணுவிலிருந்தும் எலக்ட்ரான் வெளியேற்றப்படும்பொழுது, வெளியேறிய எலக்ட்ரான் ஒரு நெகட்டிவ் அயனியைத் தோற்றுவிக்கிறது. எலக்ட்ரானை இழந்த அணு பாஸிட்டிவ் அயனியாகத் திகழ்கிறது. ஒரு பாஸிட்டிவ் அயனியையும் ஒரு நெகட்டிவ் அயனியையும் சேர்த்து அயனி ஜதை[1] என்று கூறப்படுகிறது. இவ்வாறு அணுவிலிருந்து எலக்ட்ரான் வெளியேற்றப்பட்டு அயனி ஜதை உண்டாக்கப்படுவதை அயனித்தல் என்று கூறுகிறோம். அணுக்களுடன் இடையீட்டுச் செயலில்[2] ஈடுபடும் ஆல்ஃபாத்துகள்களும் பீட்டாத்துகள்களும் தங்கள் மின்னேற்றத்தின் உதவியால் நேரடியாக அயனி ஜதைகளை அவ்வணுக்களிலிருந்து உண்டுபண்ணுகின்றன. அயனி ஜதைகளின் எண்ணிக்கை, கதிர்வீச்சில் உள்ள துகள்களின் எண்ணிக்கையையும் அவற்றின் வேகத்தையும் அவை ஊடுருவும் ஊடகத்தின்[3] தன்மையையும் அடர்த்தியையும் பொறுத்துள்ளது.

காமாக்கதிர் இவ்வாறு நேரடியாக அயனி ஜதைகளை உண்டு பண்ணுது. எனினும் செல்லும் ஊடகத்தில் அணுக்களுடன் அது செயற்படும்போது ஏற்படும் பற்பல நிகழ்ச்சிகளின் விளைவாக எலக்ட்ரான்கள் வெளியிடப்படுகின்றன. இந்த எலக்ட்ரான்களின் சக்தி ஊடக அணுக்களை அயனிக்கச் செய்யப் போதுமானது. இவ்வாறு காமாக்கதிர் மறைமுகமாக அயனி ஜதைகளை உண்டாக்குகின்றது.

நியூட்ரான்களோவெனில் நேர்முகமாகவோ மேற்சொன்ன மறைமுக முறையிலோ, ஊடக அணுக்களை அயனிக்க வல்லவை அல்ல. எனவே, ஒரு சில குறிப்பிட்ட கருக்கிரியைகளை விளைவித்து அவற்றின் பலனாகவே ஊடகத்தை மறைமுக முறையில் அயனிக்கச் செய்யவேண்டியதாகிறது. முக்கியமாக மூன்றுவகை கருக்கிரியைகள் பயன்படுகின்றன.

(i) ஹைடிரஜன் கருக்களுடன் வேக நியூட்ரான்களை மோதச் செய்து, விளைவாகப் புரோட்டான்களைப் பெறுதல் ;

(ii) போரான்–10 உடன் வெப்ப நியூட்ரான்களை கிரியைபடச் செய்து, விளைவாக ஆல்ஃபாத்துகளையும் லிதியம் கருவையும் பெறுதல் ;

(iii) அணுப்பிளவு நிகழ்ச்சி ஏற்படுத்தி பிளவு விளைபொருள்களைப் பெறுதல்.

மேற்கூறிய மூன்று கருக்கிரியைகளின் விளைவாக ஏற்படும் பொருள்கள் ஊடகத்தை அயனிக்கச்செய்ய வல்லவை. இவ்வாறு ஏற்படும் அயனி ஜதைகளின் எண்ணிக்கை, கிரியைகளுக்கு மூல காரணமான நியூட்ரான் கதிர்வீச்சின் அளவைப் பொறுத்தே இருக்கும்.

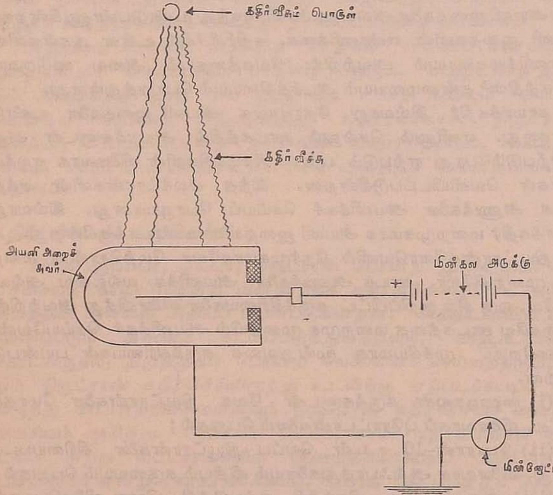
---

1. ion pair
2. interaction
3. medium.

அயனி ஜதைகள் ஒரு மின்புலத்தில்[1] செல்லுகையில் ஏற்படும் விளைவுகளைக்கொண்டு கதிர்வீச்சுக் கருவிகள் வேலை செய்கின்றன.

மின்புலத்தில் அயனி ஜதைகளின் போக்கு[2]

மின்புலத்தில் அயனி ஜதைகள் செல்லுகையில் ஏற்படும் நிகழ்ச்சிகள் மின்னழுத்தத்தைப் பொறுத்து மாறுகின்றன. இவற்றை அறிந்து கொள்ள படம் 6-12 இல் காட்டப்பட்டுள்ள உபகரணம் பயன்படுகிறது.



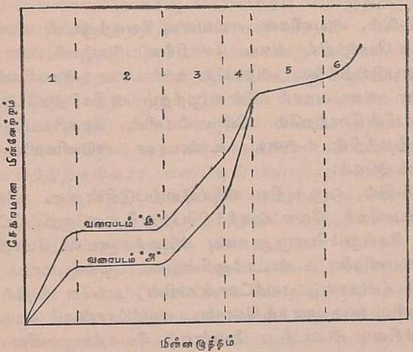
6-12. கதிர்வீச்சு உணர்கருவியின் அடிப்படை அமைப்பு

படத்தில் காட்டியபடி ஒரு உலோக ஸிலிண்டரையும்[3] அதன் அச்சு[4] வழியே செல்லும் ஒரு மின்கம்பியையும் இரு மின்வாய்களாகக்[5] கொள்வோம். இவற்றில் உலோக ஸிலிண்டர் நெகட்டிவ் மின்வாய் அல்லது எதிர் மின்வாய்; கம்பி பாஸிட்டிவ் மின்வாய் அல்லது நேர்

1. electric field 2. behaviour as well as motion
3. cylinder 4. axis 5. electrodes.

மின்வாய். ஸிலிண்டருக்குள் வாயுப்பொருள் ஒன்று நிரப்பப்பட்டு இருக்கிறது. இரு மின்வாய்களுக்கும் இடையே மின்அழுத்தம் உள்ளது. அதாவது மின்வாய்களுக்கிடையில் உள்ள இடத்தில் ஒரு மின்புலம் உள்ளது. இம்மின்புலத்தில் அயனிஜதைகள் உண்டாகுமேயானல், நெகட்டிவ் அயனிகள் நேர்மின்வாயை நோக்கியும் பாஸிட்டிவ் அயனிகள் எதிர்மின்வாயை நோக்கியும் ஈர்க்கப்படும்.

இப்பொழுது அயனிக்க வைக்கக்கூடிய கதிர்வீச்சு திடீரென்று தோன்றி, சிறிது நேரத்தில் மறைகின்றது என்போம். இக் கதிர்வீச்சால் ஒரு குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கை கொண்ட அயனி ஜதைகள் மின்வாய்



படம் 6-13.

உண்டாக்கப்பட்ட அயனி ஜதைகள் எண்ணிக்கை மின்னழுத்தத்துடன் வேறுபடல் (வரைப்படம்)[1]

களுக்கிடையில் உள்ள வாயுவில் உண்டாகின்றன. அயனி ஜதைகள் பாஸிட்டிவ் அயனிகளாகவும் நெகட்டிவ் அயனிகளாகவும் மின்புலத்தால் பிரிக்கப்பட்டு முறையே எதிர்மின்வாயிலும் நேர்மின்வாயிலும் சேகரிக்கப்படுகின்றன. மின்வாய்களில் இவ்வாறு சேகரமாகும் மின்னேற்றத்தின் அளவு மின்வாய்களுக்கிடையில் உள்ள மின்னழுத்தத்தைப் பொறுத்தது. சேகரிக்கப்பட்ட மின்னேற்றத்திற்கும் மின்னழுத்தத்திற்கும் உள்ள உறவு படம் 6-13இல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

---

1. graph.

இதில் 'அ' என்று குறிப்பிட்ட வரைப்படம் குறைந்த அளவு அயனி ஜதை உண்டாக்கும் கதிர்வீச்சையும், 'இ' என்று குறிப்பிட்ட வரைப்படம் அதிக அளவு அயனிஜதை உண்டாக்கும் கதிர்வீச்சையும் குறிக்கின்றன. வரைப்படத்தை ஆறு பகுதிகளாக, படத்தில் காட்டியுள்ளவாறு, பிரிக்கலாம்.

பகுதி 1-இல், பிரிக்கப்பட்ட அயனிகளில் ஒரு சில மின்வாயை அடைவதற்குள்ளாகத் திரும்பவும் ஒன்று சேர்ந்து விடுகின்றன. இந் நிகழ்ச்சிக்கு 'புனரிணைவு'[1] என்று பெயர். மின்னழுத்தம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க, இவ்வாறு திரும்ப ஒன்று சேரும் அயனிகளின் அளவு குறைவதால், சேகரிக்கப்படும் மின்னேற்றத்தின் அளவும் அதிகரிக்கிறது.

பகுதி 2-இல், அயனிகள் எவ்வளவு வேகத்துடன் உண்டாகின்றனவோ அதே வேகத்தில் அவை சேகரிக்கப்படுவதால், புனரிணைவுக்கு வாய்ப்பு ஏற்படுவதில்லை. அதாவது உண்டான அயனிகள் எல்லாம் மின்வாய்களை அடைவதால் மின்னழுத்தம் அதிகரித்தபோதிலும் ஒரு குறிப்பிட்ட மின்னேற்றமே மின்வாய்களில் சேகரிக்கப்படுகின்றது. இம்மின்னேற்றத்தின் அளவு உண்டான அயனிகளின் மொத்த மின்னேற்றம் ஆகும்.

பகுதி 3-இல், ஒரு புதிய விளைவு ஏற்படுகின்றது. மின்புலத்தில் செல்லும் அயனிகள் வேக வளர்ச்சிபெற்று[2] ஒரு குறிப்பிட்ட வேகத்திற்கு மேல் செல்லும்பொழுது வாயு அணுக்களுடன் மோதி, மேலும் பல புதிய அயனிகளை உண்டாக்குகின்றன. முக்கியமாக, நெகட்டிவ் அயனிகளின் (அதாவது எலக்ட்ரான்களின்) பங்கே இதில் அதிகம். பொருள் திணிவு குறைவாகக் கொண்ட எலக்ட்ரான்கள் வெகு எளிதில் வேக வளர்ச்சியை அடைந்து வேண்டிய வேகத்தை விரைவில் பெறுகின்றன. (பாஸிட்டிவ் அயனிகளின் பொருள்திணிவு அதிகமாதலால் வேண்டிய வேகத்தை அவற்றால் எளிதில் அடைய முடிவதில்லை). இவ்வாறு புதிதாக உண்டான அயனிகள் தாங்களும் மின்புலத்தில் வேக வளர்ச்சி அடைந்து மற்றப் புதிய அயனிகளைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இந்நிகழ்ச்சி தொடர்ந்து நடைபெற்று அயனிகளின் எண்ணிக்கை பெருக்கமடைகிறது. உலோகக் கம்பியை அடுத்தே மின்புலத்தின் தீவிரம்[3] மிக அதிகமாக உள்ளதால், இந்தப் பிரதேசத்திலேயே, முன்கூறிய அயனிப் பெருக்க நிகழ்ச்சிகள் நடைபெறுகின்றன. பெருகிய அயனிகளின் எண்ணிக்கை மின் அழுத்தத்தைப் பொறுத்து மாறுபடும். ஒவ்வொரு பிரதம[4] அயனி ஜதையும் உண்

---

1. recombination
2. acceleration
3. intensity
4. primary.

டாக்கும் மொத்த அயனி ஜதைகளின் எண்ணிக்கையை வாயுப்பெருக்க எண்[1] என்று அழைக்கிறோம். அதாவது பிரதம அயனிஜதைகளின் எண்ணிக்கையை வாயுப்பெருக்க எண்ணால் பெருக்கிவரும் பலன், உண்டாகும் மொத்த அயனி ஜதைகளின் எண்ணிக்கையைக் கொடுக்கிறது. மின்னழுத்தம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க வாயுப்பெருக்க எண்ணும் அதிகரிக்கின்றது. ஒரு குறிப்பிட்ட வாயுவை எடுத்துக்கொண்டால், ஒவ்வொரு மின்னழுத்த மதிப்பிற்கும் ஒரே ஒரு வாயுப்பெருக்க எண்ணே உள்ளது. ஆகவே, பகுதி 3-இல் வரைப்படம் 'அ'வும் வரைப்படம் 'இ'யும் இணை நேர்கோடுகளாக உள்ளன. மின்னழுத்தம் மாறுதவரை, சேகரிக்கப்படும் மின்னேற்றத்தின் அளவு பிரதம அயனி–ஜதைகளின் எண்ணிக்கைக்கு நேர்விகிதப் பொருத்தத்தில் உள்ளது. ஆனால் இம்மின்னேற்றத்தின் அளவு பிரதம அயனி–ஜதைகளின் மொத்த மின்னேற்றத்தைவிடப் பலமடங்கு அதிகம். உதாரணமாக 400 வோல்ட் அழுத்தம்கொண்டு 10000 மடங்கு அதிகமாக்கலாம்.

பகுதி 4இல் மற்றொரு விளைவின் காரணமாக மின்னழுத்தம் அதிகரித்த போதிலும் வாயுப் பெருக்க எண்ணில் அதிக அளவு மாற்றம் ஏற்படுவதில்லை. இதன் காரணம், எலக்ட்ரான்கள் உலோகக் கம்பியை எட்டும் காலத்திற்குள்ளாக பாஸிட்டிவ் அயனிகளால் ஸிலிண்டரை எட்ட முடிவதில்லை என்பதே. பாஸிட்டிவ் அயனிகள் உலோகக் கம்பியைச் சூழ்ந்து அதனிடமிருந்து சிறிது தூரத்தில் மிகுந்து காணப்படுகின்றன. உலோகக் கம்பியின் அருகில் மின்புலத்தின் தீவிரம் குறைகிறது. எலக்ட்ரான்கள் முன்போல் புதிய அயனிகளை உண்டாக்க முடிவதில்லை. இந்நிகழ்ச்சிகள் எல்லாம், எலக்ட்ரான் வேகத்திற்கும் பாஸிட்டிவ் அயனி வேகத்திற்கும் உள்ள வித்தியாசம் மிகவும் அதிகரித்த பின்பே, கணிசமாக ஏற்படுகின்றன. ஆகவே, மின்னழுத்தம் ஒரு குறிப்பிட்ட எல்லையைத் தாண்டிய பிறகே இவை நிகழ்கின்றன. இதுவே வரைப்படத்தின் பகுதி 4 ஆகும்.

பகுதி–5இல், அயனிப் பெருக்க நிகழ்ச்சிகள் உலோகக் கம்பியை அடுத்துள்ள சிற்சில பிராந்தியங்களில் மாத்திரம் நடைபெறாமல் உலோகக் கம்பி முழுவதும் பரவுகின்றது. வரைப்படம் 'அ'வும் வரைப் படம் 'இ'யும் வெவ்வேறாக இல்லாமல் ஒன்றன்மேல் ஒன்றாக அமைகின்றன. அதாவது சேகரிக்கப்பட்ட மின்னேற்றத்தின் அளவு பிரதம அயனிகளின் எண்ணிக்கையைச் சார்ந்திராமல், ஓர் உச்ச எல்லையை[2] அடைகிறது.

பகுதி–6இல் அயனிக்கும் நிகழ்ச்சி தொடங்கியவுடன் மிகத் தீவிரமான மின்புலத்தின் காரணமாக அயனிகள் மிகவும் பெருகி ஸிலிண்டரில்

---

1. gas multiplication factor
2. maximum limit.

உள்ள வாயு ஒரு மின்கடத்தி போல் நடந்துகொள்ள ஆரம்பிக்கிறது. ஒரு தடவை அயனி ஜதை உண்டானவுடன் மின்சாரம் தொடர்ந்து பாயத் தொடங்குகிறது.

மேற்கூறியவற்றில் பகுதிகள் 2, 3, 5 இவையே கதிர் வீச்சு உணர் கருவிகளில் பயன்படுகின்றன. பகுதி–2இல் அயனி அறைகள்[1] என்று பொதுவாகக் கூறப்படும் உணர் கருவிகளும் பகுதி–3இல் நேர் விகித எண்ணிடு கருவிகள்[2] எனப்படும் உணர் கருவிகளும் பகுதி–5இல் கைகர் முல்லர் எண்ணிடு கருவிகள்[3] எனப்படும் உணர் கருவிகளும் வேலை செய்கின்றன. ஆகவே இப்பகுதிகளையும் அயனி அறைப் பகுதி[4], நேர்விகிதப் பகுதி[5], கைகர்-முல்லர் பகுதி[6] என்று முறையே அழைப்பது வழக்கம்.

கதிர்வீச்சுக் கருவிகளின் அமைப்பு :

கதிர் வீச்சை உணரும் உறுப்புகளில்[7] உள்ள சில அத்தியாவசிய மான மாற்றங்களைத் தவிர, அயனித்தலைப் பயன்படுத்தும் கதிர் வீச்சுக் கருவிகள் எல்லாவற்றின் அமைப்பும் ஒரே மாதிரியாகவே உள்ளன. உணர்வு உறுப்பு முன்கூறிய ஸிலிண்டரையும் அதன் நடுவே உள்ள மின் கம்பியையும் கொண்டது. இந்த ஸிலிண்டரைச் சுற்றிலும் தடுப்பு[8] அமைக்கப்பட்டு, தடுப்பின் ஒரு பகுதியில் கதிர் வீச்சைப் பெற ஒரு ஜன்னல்[9] இருக்கும். நியூட்ரான் உணர் கருவிகளில் தேவை யான கருக்கிரியைகளை நிகழ வைக்க வேண்டிய போரான்–10, யுரே னியம்–235 போன்ற பொருள்கள், ஸிலிண்டரில் மேல் உள்ள பூச்சா கவோ[10] நிரப்பப்பட்ட வாயுவின் பகுதியாகவோ உள்ளன. உதாரண மாக போரான்-ட்ரை-ஃபுளோரைடு[11] போரான் கொண்ட ஒரு வாயு; நியூட்ரான் உணர் கருவிகளில் இதை நிரப்பலாம். மேலும் உணர் கருவிகளின்மேல் படும் கதிர் வீச்சை, காமாக்கதிர் வீச்சு, நியூட்ரான் கதிர் வீச்சு என்று வேறுபடுத்துவதற்கு வேண்டிய தக்க உபகரணங் களும் உணர்வு உறுப்புகளில் உண்டு.

சேகரிக்கப்பட்ட மின்னேற்றத்தைப் பொதுவாக இருவகைகளில் அளவிடலாம். அயனிக்கச் செய்யும் ஒவ்வொரு துகளையும், உண்டாக் கப்பட்ட அயனிகளின் மின்னேற்றத்தால் ஏற்படும் ஒரு மின் துடிப்பின் மூலமாக, தனித்தனியாக எண்ணலாம். இவ்வகைக் கருவிகளுக்கு பொதுவாக எண்ணிடு கருவிகள்[12] என்று பெயர்.

---

1. ion chambers
2. proportional counters
3. Geiger-Muller counters
4. ion chamber region
5. proportional region
6. Geiger-Muller region
7. sensing elements
8. shield
9. window
10. coating
11. boron-triflouride
12. counters.

மற்ற முறையில் சேகரித்த மின்னேற்றத்தை, கபாஸிடர்[1] எனப் படும் மின் தங்கிகளில் தேக்கி வைத்து ஒரு சீரான மின்னோட்டம் ஏற்படுத்தப்படுகிறது. இம்மின்னோட்டத்தின் அளவை, பின்வரும் சமன்பாடு கொடுக்கிறது.

$$\text{மின்னோட்டம்} = \left\{\begin{matrix}\text{ஒரு செகண்டில் சேகர} \\ \text{மாகும் அயனிகளின்} \\ \text{எண்ணிக்கை}\end{matrix}\right\} \times \left\{\begin{matrix}\text{ஒரு அயனியில்} \\ \text{உள்ள மின்} \\ \text{னேற்றம்.}\end{matrix}\right\}$$

மின்னோட்டத்தை அளந்து கதிர்வீச்சின் தீவிரத்தை செகண்டிற்கு ஒரு சதுர சென்டிமீட்டரைக் கடக்கும் துகள்கள் இவ்வளவு என நிர்ணயிக்கலாம். இவ்வகைக் கருவிகள் பொதுவாக தொகுக்கும் கருவிகள்[2] எனப்படும். ஏனெனில், இவை கதிர் வீச்சுத் துகள்களின் வரவு வேகத்தைத் (செகண்டிற்கு இவ்வளவு துகள்கள் எனச் சொல்வது) தொகுத்து அதன் சராசரி அளவைக் கொடுக்கின்றன.

கதிர் வீச்சை அளக்கும் கருவிகளை அவை பயன்படுத்தப்படும் உபயோகத்தைப் பொறுத்து கண்காணிப்பு கருவிகள்[3] என்றும் கட்டுப்பாட்டுக் கருவிகள்[4] என்றும் பிரிக்கலாம். கதிர் வீச்சினால் உடலிற்கு ஏற்படும் தீங்கைத் தவிர்ப்பதற்காகப் பாதுகாப்பு நடவடிக் கைகள் எடுத்துக் கொள்ளப் பயன்படும் கருவிகள் கண்காணிப்புக் கருவிகள். இவைகளைப் பற்றி மற்றோர் அத்தியாயத்தில் சொல்லப் படும். இப்பொழுது அணுஉலை செயல்படச் செய்யப் பயன்படும் கருவிகளைப்பற்றித் தெரிந்து கொள்வோம்.

அயனி அறைகள்

இவை முக்கியமாக ஆல்ஃபாத் துகளையும் நியூட்ரானையும் எண்ணு வதற்குப் பயன்படுகின்றன. மின் சுற்றோட்டத்தைத்[5] தகுந்தவாறு திட்டமிடுவதால் அணுஉலைக் காலம்[6] என்னும் 'மாறி'யையும் அளக்கலாம்.

லாகரித ஸ்கேல் முறையில் நியூட்ரான் பாய்திரளை[7] அளக்கும் லாகரித எண்ணிடு கருவிகளும்[8] அயனி அறைகளையே உணர் உறுப்புக்களாகக் கொண்டுள்ளன.

ஈடு செய்யப்பட்ட அயனி அறைகள்[9]: அணுஉலையிலிருந்து ஆல்ஃபாத்துகள், பீட்டாத்துகள், நியூட்ரான், காமாக் கதிர் வீச்சு ஆகிய யாவும் வெளிப்படுகின்றன. நியூட்ரான்களை எண்ணும்பொழுது காமாக் கதிர் வீச்சும் அயனிகளை உண்டுபண்ணி குழப்பத்தை உண்டு பண்ணக்கூடும். ஆல்ஃபாத் துகள்களும் பீட்டாத் துகள்களும்

---

1. capacitor
2. intergrating meters
3. monitoring instruments
4. control instruments
5. electric circuitry
6. reactor-period
7. neutron flux
8. logarithmic counters
9. compensated ion chambers.

தகுந்த தடுப்புகளைக் கொண்டு தடுக்கப்படுவதால் இவை குழப்பத்தை உண்டுபண்ண மாட்டா. ஆனால், இத்தடுப்புகள் நியூட்ரான்களைத் தடுத்து நிறுத்தா. ஆனால் இவ்வாறு நியூட்ரான்களைத் தடுக்காத வகையில், காமாக் கதிர்களைத் தடுக்க முடியாது. இதைத் தவிர்க்க ஈடு செய்யப்பட்ட அயனி அறைகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இவற்றில் ஒரே கன அளவு கொண்ட இரு உணர் கருவிகள் உள்ளன. ஒன்றில் மாத்திரம் போரான்–10 பூசப்பட்டிருக்கும். இது நியூட்ரான் கதிர்வீச்சையும் காமாக் கதிர்வீச்சையும் உணர்கிறது. மற்றது போரான்–10 இல்லாமையால் காமாக் கதிர்வீச்சை மாத்திரம் உணரும். காமாக் கதிர்வீச்சால் ஏற்படும் மின்னேற்றம் இரண்டு உணர் கருவிகளிலும் (கன பரிமாணம் சமமாக உள்ளதால்) சமமாக உள்ளது. ஆகவே முதல் உணர்கருவி சேகரிக்கும் மின்னேற்றத்திற்கும் இரண்டாம் உணர்கருவி சேகரிக்கும் மின்னேற்றத்திற்கும் உள்ள வித்தியாசம், நியூட்ரான் கதிர் வீச்சால் ஏற்படுகிறது. இந்த வித்தியாசத்தைத் தகுந்த மின்சுற்றைக் கொண்டு நேரடியாக அளந்தறியலாம். இது நியூட்ரான்களை மாத்திரம் எண்ணுகிறது.

நேர்விகித எண்ணிடு கருவிகள்

இவற்றில் வாயுப்பெருக்க விளைவால் அயனிகளின் எண்ணிக்கை பெருகுவதால், மின்பெருக்கிகள்[1] கொண்டு உண்டாக்க வேண்டிய பெருக்கத்தின் அளவு குறைகிறது. மேலும், குறுகிய காலத்தில் வரும் அயனிக்கச் செய்யும் துகள்களின் எண்ணிக்கை மிக அதிகமாயினும், அவ்வளவையும் தவறில்லாமல் எண்ணிட வல்லவை.

எனினும் ஒரு சில குறைபாடுகளும் இக்கருவிகளில் உண்டு. மின்னழுத்தம் அதிகமாக இருப்பதால் தக்க மின்காப்பு[2] தேவைப்படுகிறது. மேலும் மின்னழுத்தம் சிறிதே மாறினாலும் வாயுப்பெருக்க எண் மிகவும் மாறுவதால் மின்னழுத்தம் சிறிதளவும் மாறுதவாறு கட்டுப்படுத்த வேண்டிவருகிறது.

கைகர் முல்லர் எண்ணிடு கருவிகள்

இவை முக்கியமாக பீட்டா, காமாக்கதிர் வீச்சுக்களைக் கண்காணிக்கப் பயன் படுகின்றன.

பிளவு அறை அளவு கருவிகள்[3]

போரான் பூச்சிட்ட உணர்கருவிகளும், போரான்-ட்ரை-ஃபுளோரைடு நிரப்பப்பட்ட உணர்கருவிகளும் அதிக அளவு நியூட்ரான்கள்

---

1. electronic amplifiers
2. insulation
3. fission chambers..

தாக்கும் போதே திறமையாக வேலை செய்கின்றன. நியூட்ரான்கள் குறைந்த அளவில் இருக்கும் பொழுது, பிளவு அறைகள் எனப்படும் உணர்கருவிகள் பயனுகின்றன. இவைகளும் முன்கூறிய உலோக ஸிலிண்டர், மத்திய மின்கம்பி, இவற்றைக் கொண்டவை. உலோக ஸிலிண்டரின் உட்பக்கம் U–235 கொண்ட கூட்டுப் பொருள்கள் பூசப் படுகின்றன. வெப்ப நியூட்ரான்கள் U–235 கருக்களுடன் மோதுகையில் அணுப்பிளவு ஏற்பட்டு, சக்திவாய்ந்த பிளவுத்துகள்கள் உண்டாகின்றன. இப்பிளவுத்துகள்கள் மிகுந்த அளவில் அயனிகளை உண்டாக்குவதால், மிக்க திறமையுடன் நியூட்ரான்களை எண்ண முடிகிறது. பிளவு அறைகளை, குறைந்த மின்னழுத்தத்திலும் (300 வோல்ட்) வேலை செய்விக்க முடிகின்றது.

ஒளிர்வு கருவிகள்[1]

அயனித்தல் நிகழ்ச்சியைப் பயன்படுத்தும் கருவிகளைத் தவிர, ஒளிர்வு கருவிகளும் கதிர்வீச்சை உணர்ந்தறியப் பயன் படுகின்றன. ஃபாஸ்ஃபர்கள்[2] எனப்படும் சில ஒளிர்வுப் பொருள்கள் (ஒளிரிகள்) இக்கருவிகளில் பயன்படுகின்றன. இவை திடப்பொருள்களாகவோ திரவப்பொருள்களாகவோ இருக்கலாம். இவற்றின் வழியே கதிர்வீச்சு ஊடுருவும் பொழுது, கதிர்வீச்சு சக்தியை இவை கிரகித்து, அதில் ஒரு பகுதியை ஒளியாக வெளியிடுகின்றன. ஒளிரிகளுக்கு உதாரணமாக ஸோடியம் அயொடைடு[3], லிதியம் அயொடைடு[4], துத்தநாக ஸல்பைடு[5], கால்ஸியம் டங்ஸ்டேட்[6], ஆந்த்ரஸீன்[7], ஸ்டில்பின்[8], நாஃப்தலின்[9], டைஃபினைல்[10] போன்றவற்றைக் குறிப்பிடலாம். இந்த ஒளிர்வுப் பொருள்கள் வெளியிடும் ஒளியைத் தகுந்த மின்சார உபகரணங்களால் அளந்து அதன் மூலம் கதிர்வீச்சின் அளவை நிர்ணயிக்க முடிகின்றது. என்றாலும், அணுஉலை செயல்புரிய அவசியமான அளவிடு கருவிகளில் ஒளிர்வு உணர்கருவிகளைச் சேர்த்துக்கொள்ள முடியாது. இவை சோதனைக் கூடங்களில் கதிர்வீச்சைத் துல்லியமாக அளக்கப் பயன்படுகின்றன.

இதுவரைக் கூறிய பற்பல கருவிகள், அவை அளக்கும் 'மாறி'கள், அளக்கும் முறை, உபயோகம் முதலியன சுருக்கமாகக் கீழ்க்கண்ட அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

---

1. scintillation counters
2. phosphors
3. sodium iodide
4. lithium iodide
5. zinc sulphide
6. calcium tungstate
7. anthracene
8. stilbene
9. naphthalene
10. diphenyl.

I. கதிர்வீச்சு சம்பந்தமான அளவீடுகள்

அளக்கப்படும் மாறி	அளக்கும் முறை, கருவிகள்	உபயோகம்
1. நியூட்ரான் பாய்திரள் (a) குறைந்த அளவில்	U-235 பிளவு அறை அல்லது போரான் - ட்ரை - ஃபுளோரைடு நேர்விகித எண்ணிடு கருவி	அணுஉலையினுள் (i) தொடக்க காலத்தில் திறனை அளக்க (ii) ஆற்றியின் கதிரியக்கத்தைக் கண்காணிக்க (iii) தடுப்புப் பொருள்களையும் மீறி வெளிப்படும் கதிர் வீச்சைக் கண்காணிக்க
(b) அதிக அளவில்	ஈடு செய்யப்பட்ட அயனி அறை, போரான் பூச்சு கொண்ட தொகுக்கும் கருவிகள்	அணுஉலையினுள், சாதாரணமாக அணு உலை வேலை செய்கையில், (i) திறனை அளக்க (ii) காப்பு நடவடிக்கைகள் எடுக்க (iii) பாய்திரளை சோதனைகளுக்காக அளக்க
2. அணுஉலைக்காலம் (a) குறைந்த அளவில் (b) அதிக அளவில்	லாகரித எண்ணிடு கருவி லாகரித தொகுக்கும் கருவி	அணுஉலையினுள் தொடர் கிரியையைத் தொடக்க (i) அணுஉலையினுள் தொடர் கிரியையைத் தொடக்க (ii) அணுஉலை வெளியிடும் திறன் அளவை மாற்ற (iii) காப்பு நடவடிக்கைகள் எடுக்க
3. காமா பாய்திரள்	கைகர்-முல்லர் கருவிகள் அயனி அறைகள், ஒளிர்வு கருவிகள்	(i) தடுப்புப் பொருள்களுக்கு வெளியே கதிர்வீச்சைக் கண்காணிக்க (ii) ஆற்றியின் கதிர்வீச்சைக் கண்காணிக்க (iii) காப்பு நடவடிக்கைகள் எடுக்க

II. மற்ற அளவீடுகள்

அளக்கப்படும் மாறி	அளக்கும் முறை, கருவிகள்	உபயோகம்
1. உஷ்ணநிலை	(i) வெப்ப மின்சார இரட்டை (ii) ஈருலோகப் பட்டை (iii) மின்தடை உஷ்ணமானிகள் (iv) திரவ அல்லது வாயுப் பொருள் நிரப்பப்பட்ட உஷ்ணமானிகள்	வெப்பநிலையை (i) ஆற்றியானது அணுஉலைக்குட்புகும் போதும், அணுஉலையிலிருந்து வெளியேறும் போதும் அளக்க (ii) எரிபொருளின் சிற்சில தானங்களில் அளக்க (iii) கட்டுப்படுத்தும் கோல்களில் அளக்க (iv) கட்டுப்படுத்தும் கோல்களின் ஆற்றியில் அளக்க (v) தணிப்பானில் அளக்க (vi) தடுப்புப் பொருள்களில் அளக்க
2. அழுத்தம் அல்லது அழுத்த வித்தியாசம்	போர்டன் குழல், நுண்தகடு, துருத்தி இவைகளைப் பயன்படுத்தும் அளவுமானிகள்	அழுத்தத்தை (i) ஆற்றிஓடும் ஒவ்வொரு குழாயிலும் (அணு உலைக்குள்) அளக்க (ii) தணிப்பானில் அளக்க (iii) தணிப்பான் மேல் உள்ள வாயுவிலும் அளக்கவும் (iv) ஓட்டவீதத்தை அளக்கவும் (கீழே பார்க்க) (v) திரவமட்டங்களை அளக்கவும் (கீழே பார்க்க)
3. பாய்பொருள் ஓட்ட வீதம்	துளைத்தகடு, வென்சுரி, குறுகு குழல் இவற்றைக் கொண்டு அழுத்த வித்தியாசம் ஏற்படுத்துதல், ரோட்டா மீட்டர்கள், டர்பைன், மின்காந்த மானிகள்	(i) ஆற்றியின் மொத்த ஓட்டவீதம் (ii) ஒவ்வொரு குழாயிலும் ஆற்றியின் ஓட்டவீதம் (iii) கட்டுப்பாட்டுக் கோல்களின் ஆற்றியின் ஓட்ட வீதம் (iv) கசிவால் இழந்த தணிப்பான் அல்லது ஆற்றியைச் சரிக்கட்ட; உட்செலுத்தப்பட்ட ஓட்டவீதம் இவற்றை அளக்க

அளக்கப்படும் மாறி	அளக்கும் முறை, கருவிகள்	உபயோகம்
4. திரவமட்டம்	மிதவைகளைப் பயன்படுத்தும் கருவிகள், திரவஸ்தம்பத்தால் ஏற்படும் அழுத்த வித்தியாசத்தை அளக்கும் கருவிகள்	(i) அணுஉலைக்கலனில் தணிப்பான் மட்டம் (ii) தொட்டிகளில் ஆற்றி, தணிப்பான் இவற்றின் மட்டம் (iii) திரவநிலையில் எரிபொருள் பயன்படுத்தப்பட்டால் அதன் மட்டம் இவற்றை அளக்கவும் (iv) ஆற்றி அல்லது தணிப்பான் கசிந்து போவதை அளக்கவும்
5. தானம்	நெம்புகோல், பற்சக்கரங்கள் கொண்டு அளத்தல், மின் முறைகளால் அளத்தல்	(i) அணுஉலையின் பரிமாண மாற்றங்களை அறிய (ii) கட்டுப்பாட்டுக்கோலின் தானத்தை அளக்க (iii) அணுஉலை உள்ளகத்திலிருந்து வெளியேற்றப்படும் எரிமூலகத்தின் தானத்தை அளக்க
6. தூய்மை[1]	மின்கடத்தும் திறன்[2], அமிலத்தன்மை (pH), ஒப்பு அடர்த்தி,[3] இவற்றை அளத்தல்	(i) ஆற்றியின் தூய்மையை அளக்க (ii) தணிப்பானின் தூய்மையை அளக்க (iii) திரவநிலை எரிபொருளின் தூய்மையை அளக்க

1. purity 2. electric conductivity 3. specific gravity

REFERENCES

1. S. GLASSTONE AND A. SESONSKE: "*Nuclear Reactor Engineering*"—Van Nostrand & Co., Princeton, New Jersey.

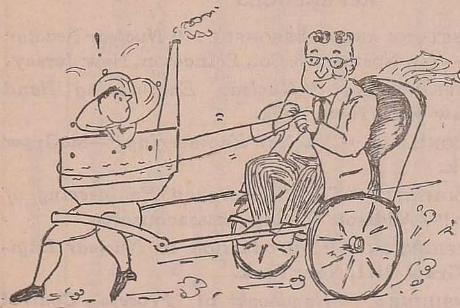
2. H. ETHERINGTON: "*Nuclear Engineering Hand Book*"—McGraw Hill, New York.

3. C. F. BONILLA: "*Nuclear Engineering*"—McGraw Hill, New York.

4. C. GOODMAN: "*The Science and Engineering of Nuclear Power*"—Addison Wesley, Massachusetts.

5. R. STEPHENSON: "*Introduction to Nuclear Engineering*"—McGraw Hill, New York.

6. R. CONSIDINE: "*Handbook of Process Control Instruments*"—McGraw Hill, New York.



7. அணு உலை—கட்டுப்பாடு[1]

[ஹா. ராமமூர்த்தி]

கட்டுப்பாட்டு அமைப்பும்[2] பாதுகாப்பு முறைகளும்[3]

எந்த ஒரு தொழில் முறையும் செவ்வனே நடைபெறவேண்டுமானால் ஒரு சில பௌதிக 'மாறி'களைக் குறிப்பிட்ட வரம்புகளுக்குள் கட்டுப்படுத்துவது அவசியம் ஆகிறது. இவ்வாறு கட்டுப்படுத்துவதினாலேயே ஆக்கப்படும் பொருளின் பண்புகளைத் தேவைக்குத் தக்கவாறு மாற்றியமைக்கவும், செய்முறைக்குத் தேவையான சூழ்நிலையை அமைத்துக் கொள்ளவும், மின் நிலையங்களில்[4] தேவைப்பட்ட அளவிற்குத் திறனை உற்பத்தி செய்யவும் சாத்தியமாகிறது. கட்டுப்பாட்டு அமைப்பைத் தவிர, உபயோகமாகும் சாதனங்கள் விபத்துக்களினால் அழிவுறாமல் காக்கவும், வேலைசெய்யும் பணியாட்களுக்கு ஒருவித ஆபத்தும் வராமல் தடுக்கவும் ஒருசில பாதுகாப்பு முறைகள் அத்தியாவசியமாகின்றன.

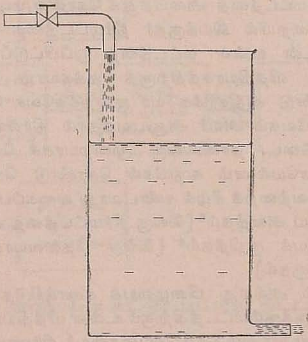
இதே போல் அணு உலை செவ்வனே செயல் புரிய, பல பௌதிக 'மாறி'களைக் கட்டுப்படுத்தவும், அதிலிருந்து வெளிப்படும் திறனைத் தேவைக்கு ஏற்ப மாற்றியமைத்துக் கொள்ளவும், கதிர்வீச்சாலோ மற்ற காரணம் பற்றியோ அங்கு பணிபுரியும் நபர்களுக்குத் தீங்கு ஏற்படா வண்ணம் காக்கவும், கட்டுப்பாட்டு அமைப்பும் பாதுகாப்பு முறைகளும் தேவைப்படுகின்றன.

---

1. reactor control 2. control system 3. safety methods 4. power stations.

கட்டுப்பாட்டு முறைகளின் தத்துவங்கள்

பொதுவாக, கட்டுப்பாட்டு முறைகள் ஆளியக்குக் கட்டுப்பாடு[1] என்றும் தானியங்கு கட்டுப்பாடு[2] என்றும் இரு வகைப்படும். ஆளியக்குக் கட்டுப்பாட்டு முறையில், ஆபரேட்டர்கள்[3] என்று கூறப் படும் தொழிலக இயக்குநர்களால் கட்டுப்பாடு செய்யப்படுகிறது. தானியங்கு கட்டுப்பாட்டு முறையில், மனித உதவியில்லாமல், கருவி களை மாத்திரம் கொண்டு கட்டுப்பாடு செய்யப்படுகின்றது. இருவகைக்



படம் 7-1. நீர்மட்டக் கட்டுப்பாடு

கட்டுப்பாட்டிலும் செய்யப்படும் செயல்கள் ஒன்றே. உதாரணமாக ஒரு தொட்டியில் உள்ள நீரின் மட்டத்தைக் கட்டுப்படுத்துவதாகக் கொள் வோம் (படம் 7-1). தொட்டியிலிருந்து வெளியேறும் நீரும் தொட்டிக் குள் உட்புகும் நீரும் சமமாக இருக்கும் வரை நீர்மட்டத்தில் மாற்றம் ஏற்படாது. உட்புகும் நீரை விட வெளியேறும் நீர் அதிகம் ஆனால் நீர் மட்டம் குறைந்துகொண்டேசெல்லும். மாறாக, உட்புகும் நீரைவிட வெளி யேறும் நீர் குறைவானால் நீர்மட்டம் அதிகரித்துக் கொண்டே செல்லும். ஆகவே நீர்மட்டம் மாறாமல் இருப்பதற்கு, உட்புகும் நீரும் வெளியேறும் நீரும் ஒரு சம நிலையில்[4] (அதாவது சம அளவில்) இருப்பது அவசியம் என்று தெரிகிறது. இப்பொழுது கூறியது பதார்த்தச் சமநிலை[5] ஆகும். இதேபோல் உட்புகும் சக்தியும் வெளியேறும் சக்தியும் சமநிலையில் இருப் பதற்கு வெப்பநிலை போன்ற மாறிகள் மாறாமல் ஒரே அளவுடன் இருக்க

---

1. manual control 2. automatic control 3. operators
4. equilibrium (balance) 5. material balance.

அவசியம் ஆகிறது. இது சக்திச் சமநிலை[1] ஆகும். ஆகவே பதார்த்த சமநிலையையோ சக்திச் சமநிலையையோ உண்டாக்குவது எந்த ஒரு கட்டுப்பாட்டு முறைக்கும் அடிப்படை ஆகும்.

மேற்கூறிய உதாரணத்தில், வெளியேறும் நீரின் அளவு மாறுபடுவதால் நீர்மட்டம் மாறுபடுகிறது என்று கொள்வோம். நீர்மட்டம் மாருமல் இருக்க என்ன செய்ய வேண்டும்? நீர்மட்டம் தேவையான அளவிற்குக் குறைந்தால் உட்புகும் நீரின் அளவை அதிகரித்தும் தேவையான அளவிற்கு மேற்பட்டால் உட்புகும் நீரின் அளவைக்குறைத்தும் வேண்டியபடி நீர்மட்டத்தை அமைத்துக் கொள்ளமுடியும். ஆளியக்குக் கட்டுப்பாட்டு முறையில் இயக்குநர் நீர்மட்டத்தை அளந்து, தேவையான மட்டத்துடன் உள்ள மட்டத்தை ஒப்பிட்டுப்பார்த்து, இரண்டிற்கும் உள்ள வித்தியாசத்திற்குத் தக்கவாறு உட்புகும் நீரை வால்வைக் [2]கொண்டு அதிகரிக்கவோ குறைக்கவோ செய்கிருர். வால்வைத் திறக்கும் வேகம் அவர் அனுபவத்தால் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. இதே கட்டுப்பாட்டை, தானியங்கு முறையாகச் செய்ய, இயக்குநர் செய்த செயல்களையெல்லாம் கருவிகள் கொண்டு செய்ய வேண்டும். இயக்குநர் செய்தவற்றைக் கீழ்க் கண்டவாறு வகைப்படுத்தலாம்.

(i) 'மாறி'யை அளத்தல்[3] [இங்கு நீர்மட்டத்தை அளித்தல்]

(ii) தேவையைக் குறித்தல்[4] [இங்கு தேவையான மட்டத்தைக் குறித்துக் கொள்ளுதல்]

(iii) ஒப்பிடுதல் அல்லது பிழையைக் கணக்கிடுதல்[5] [தேவையான மட்டத்திற்கும் இருக்கும்மட்டத்திற்கும் உள்ள வித்தியாசத்தை அறிதல்]

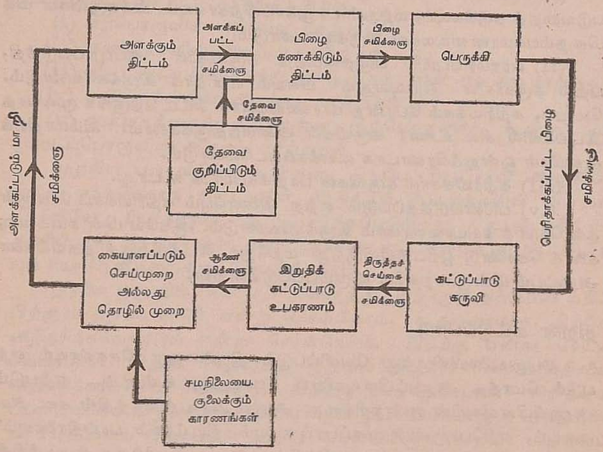
(iv) பிழைக்கு ஏற்ப திருத்தச் செய்கையை[6] நிர்ணயித்தல் [எவ்வளவு தூரம் எவ்வளவு வேகத்தில் வால்வைத் திறக்க வேண்டும் என்று தீர்மானித்தல்]

(v) திருத்தச் செய்கையைக் கொண்டு இறுதிக் கட்டுப்பாட்டு உபகரணத்தை[7] இயக்குதல் [இங்கு வால்வைத் திறக்கவோ மூடவோ செய்தல். வால்வு, இங்கு இறுதிக் கட்டுப்பாட்டு உபகரணம்]

மேற்கூறிய செயல்கள் அனைத்தையும் தக்க கருவிகள் கொண்டு செய்யமுடியும். இவ்வாறு செய்யும் பொழுது இம்முறையைத் தானியங்கு கட்டுப்பாட்டு முறை என்று கூறுகிறேம். இம்முறையில் பிழை எப்பொழுதும் நிர்ணயிக்கப்பட்டுச் செயல் அமுலாகிக் கொண்டு வருவதால் எக்காரணம் கொண்டு பிழை ஏற்பட்டாலும் அது நீக்கப்படுகின்றது. இம்முறையைக் கீழ்க்கண்ட கோட்டுப்படம்[8] (படம் 7-2) விளக்குகிறது.

---

1. energy balance
2. valve
3. measurement of variable
4. fixing the desired value
5. comparison or error evaluation
6. corrective action
7. final control element
8. diagram.



படம் 7-2. தானியங்கு கட்டுப்பாட்டுத் திட்ட அமைப்பு

படத்திலிருந்து எவ்வாறு பல்வேறு தகவல்களும்[1] சமிக்ஞை[2] உருவத்தில் ஒரு சுற்றுப்பாதையில் சுற்றி வருகின்றன என்று தெரிய வருகின்றது. இது காரணம் பற்றி இக்கட்டுப்பாட்டு முறையை முழுச் சுற்றுக் கட்டுப்பாட்டு முறை[3] என்று அழைக்கின்றனர். எல்லாத் தானியங்கு கட்டுப்பாட்டு முறைகளும் முழுச் சுற்றுக் கட்டுப்பாட்டு முறையையே பின்பற்றுகின்றன.

அணுஉலையில் கட்டுப்படுத்தப்படும் எல்லா 'மாறி'களும் [உஷ்ண நிலை, அழுத்தம், பாய்பொருள், அதன் ஓட்டவீதம், திரவமட்டம், ரியாக்டிவிடி முதலியவை] மேற்சொன்ன முறையையே கையாளுகின்றன. எனினும் அணுஉலைக்காகத் தேர்ந்தெடுக்கப்படும் கருவிகள், பிற தொழில்முறைக் கருவிகளிலிருந்து கீழ்க்கண்ட விஷயங்களில் வேறுபட்டு உள்ளன.

---

* பிழை சமிக்ஞை என்றால் பிழையான சமிக்ஞை என்று பொருள்கொள்ளக் கூடாது. இது பிழையின் அளவைத் தெரிவிக்கும் சமிக்ஞை ஆகும். இங்கு பிழை என்பதைப் பின்வருமாறு வரையறுக்கலாம். பிழை = (மாறியின் தேவைப்பட்டஅளவு) —(மாறியின் அளக்கப்பட்ட அளவு)

1. information 2. signal 3. closed loop control system.

(i) கருவிகளின் பிசகினால், அனாவசியமாக அணுஉலை நிறுத்தப் படுவதைத் தடுக்கவும், மற்றும் பாதுகாப்பிற்காகவும், இக்கருவிகள் மிக மிக நம்பகமானவையாக[1] இருக்கவேண்டும்.

(ii) பராமரிப்பும்[2], பழுதடைந்த கருவிகளை அப்புறப்படுத்தி, பதில் கருவிகளை நிறுவுவதும்[3] மிகவும் எளிதாக இருக்கவேண்டும். மேலும், கதிரியக்கம் போன்ற காரணங்களால் கிட்ட நெருங்க முடியாத இடங்களில் சில உணர் கருவிகள் அமைந்திருக்கலாம். இம்மாதிரிக் கருவிகள் ஒன்றுக்கிரண்டாக வைக்கப்படவேண்டும்.

(iii) கதிர்வீச்சால் கருவிகள் பாதிக்கப்படக் கூடாது.

(iv) பயன்படுத்தப்படும் எந்த இணைப்பும் கதிரியக்கப் பொருள் கள் வெளிக் கசியாவண்ணம் இருக்கவேண்டும். ஆகவே மின் சமிக்ஞை களைக் கொண்டு ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோர் இடத்திற்குத் தகவல்களை அனுப்பும் மின்முறைகளே விரும்பப்படுகின்றன.

திறன் கட்டுப்பாடு

அணுஉலையிலிருந்து வெளிப்படும் திறன் ஒரு செகண்டில் ஏற் படும் மொத்த அணுப்பிளவுகளைப் பொறுத்து உள்ளது. ஏற்படும் அணுப்பிளவுகளின் எண்ணிக்கை, அணுஉலை உள்ளகத்தின் கன அள வையும், எரிபொருளின் முகப்பரப்பையும், நியூட்ரான் பாய்திரளையும்* பொறுத்து உள்ளது. ஒரு குறிப்பிட்ட அணுஉலையில், உள்ளகத்தின் கன அளவையும் எரிபொருளின் முகப்பரப்பையும் எளிதில் மாற்றமுடி யாது. எனவே, நியூட்ரான் பாய்திரளை வேண்டியபடி மாற்றியமைத்தே வெளிப்படும் திறனை மாற்றியமைக்க முடிகின்றது.

வெளிப்படும் திறன் மாறாமல் ஒரே சீராக இருக்கவேண்டுமானால் பாய்திரளின் மதிப்பு மாறாமல் இருக்கவேண்டும். அதாவது, ரியாக்டி விடியின் மதிப்பு பூஜ்யமாக இருக்கவேண்டும். எனவே, ரியாக்டிவிடி யைக் கட்டுப்படுத்துவது† [அதாவது பூஜ்யத்திலிருந்து விலகாமல்

---

* ஒரு கன சென்டிமீட்டர் கன அளவில் உள்ள நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை யையும் அவற்றின் சராசரி வேகத்தையும் பெருக்கிவரும் தொகை நியூட்ரானின் பாய் திரள் ஆகும். இது செகண்டிற்கு சதுர சென்டிமீட்டருக்கு இவ்வளவு நியூட்ரான்கள் என்ற அலகால் குறிப்பிடப்படும்.

† ஒரு அணுஉலையில் ஏற்படும் பல நிகழ்ச்சிகளால் ரியாக்டிவிடி மாறக்கூடும். முக்கியமாக பின்வரும் காரணங்களைக் கூறலாம். (1) எரிபொருளின் எரிவு [burn-up], (2) U-238 போன்ற வளமுடைப் பொருள், பிளவுபடக்கூடிய பொருளாக மாறு தல், (3) அணுஉலை நச்சுப் பொருள்களின் உற்பத்தி, (4) உஷ்ணநிலை மாற்றத் தால் ஏற்படும் விளைவுகள். இவற்றின் விவரங்களை **‘அணுஉலை-பௌதிகம்’** என்ற அத்தியாயத்தில் காணலாம்.

1. reliable 2. maintenance 3. installation.

செய்வது] திறன் மாறுமல் இருக்கச் செய்வதற்கு அவசியமாகிறது. ரியாக்டிவிடியைக் கட்டுப்படுத்துவதற்கு

(i) எரிபொருளின் அளவை மாற்றுதல்

(ii) தணிப்பானின் அளவை மாற்றுதல்

(iii) நியூட்ரானை கிரகிக்கக்கூடிய பொருள்களின் அளவை மாற்றுதல்

(iv) எதிரனுப்பியின் அளவை மாற்றுதல்

(v) உள்ளகத்தைச் சுற்றியுள்ள சூழ்பொருளில்[1] உள்ள வளமுடைப்பொருளின் அளவை மாற்றுதல்

முதலிய பல வழிகள் உள்ளன. வெப்ப நியூட்ரான் அணுஉலைகளில், முக்கியமாக நியூட்ரானை கிரகிக்கும் பொருள்களின் அளவை மாற்றியே ரியாக்டிவிடி கட்டுப்படுத்தப்படுகிறது. உபயோகிக்கும் தணிப்பான் திரவமாயின் தணிப்பானின் மட்டத்தைக் கட்டுப்படுத்தியும் ரியாக்டிவிடியைக் கட்டுப்படுத்தலாம்.

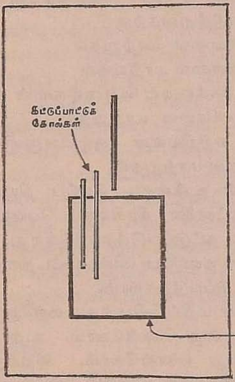
திறனை ஒரு நிலையான மதிப்பிலிருந்து, மற்ருெரு நிலையான மதிப்பிற்கு மாற்றவேண்டும் என்று கொள்வோம். உதாரணமாக, திறனை அதிகரிக்கவேண்டும் என்று கொள்வோம். இதற்கு என்ன செய்ய வேண்டும்? திறனை அதிகரிக்க முதலில் நியூட்ரானின் பாய்திரளை அதிகரிக்கச் செய்யவேண்டும். இதற்கு ரியாக்டிவிடியைச் சிறிதளவு பாஸிட்டிவாக இருக்கும்படி செய்யவேண்டும். இப்பொழுது அணுஉலை வரம்புநிலையை மீறுவதால் நியூட்ரான்கள் பெருகுகின்றன. தேவைப்பட்ட அளவிற்கு நியூட்ரான் பாய்திரள் அதிகரித்தவுடன், ரியாக்டிவிடியை மறுபடியும் பூஜ்யமாகச் செய்யவேண்டும். இதனுல் நியூட்ரான் பாய்திரள் புதிய மதிப்பில் நிலைத்துவிடுகிறது. திறனும் சீராக, மாருமல், புதிய அதிகரித்த மதிப்புடன் வெளியாகிறது. இவ்வாறு ரியாக்டிவிடியை வேண்டியபடி அதிகரிக்கவோ, குறைக்கவோ, நியூட்ரான்களைக் கிரகிக்கும் பொருள்களால் ஆன கட்டுப்பாட்டுக் கோல்கள்[2] பயனுகின்றன. இக்கோல்கள் அணுஉலையின் உள்ளகத்தினுள் மேலும் கீழும் நகருமாறு அமைக்கப்படுகின்றன. இக்கோல்களை வேண்டிய அளவிற்கு உள்ளகத்தில் செருகி, ரியாக்டிவிடி கட்டுப்படுத்தப்படுகிறது.

கட்டுப்படுத்தும் கோல்கள் அல்லது கட்டுப்பாட்டுக் கோல்கள்

மேற்சொன்னவாறு ரியாக்டிவிடியைக் கட்டுப்படுத்த, கட்டுப்பாட்டுக் கோல்கள் உதவுகின்றன. இவை, நியூட்ரான்களைப் பெருமளவில் கிரகிக்கும் தன்மை வாய்ந்த போரான், காட்மியம் முதலிய பொருள்களால் தயாரிக்கப்படுகின்றன. இவற்றை உள்ளகத்தினுள் வேண்டிய அளவு செருகியபின் அந்நிலையில் இருத்திப் பிடித்துக்கொள்ள மின்காந்தப் பிடிகள்[3] உதவுகின்றன. இக்கோல்களை மேலும் கீழும் நகர்த்த,

---

1. blanket 2. control rods 3. electromagnetic clutches.



படம் 7-3. அணுஉலை உள்ளகத்தில் கட்டுப்பாட்டுக் கோல்கள்

தகுந்த சாதனங்கள் உள்ளன. இவை, முக்கியமாக, திருகு மரைகளைக் கொண்டு இயங்கும் ஸ்குரு ஜாக்[1] போன்ற எந்திரங்களும், அழுத்த நீர், காற்று, இவற்றைக் கொண்டு நகரும் பிஸ்டன்களைப் பயன்படுத்தும் எந்திரங்களும், மின் மோட்டார்கள், பல்லிணைகள்[2] இவற்றைக் கொண்டு இயங்கும் எந்திரங்களும் ஆகும்.

ஒரே ஒரு கட்டுப்பாட்டுக்கோலை அமைக்காமல் பல கட்டுப்பாட்டுக் கோல்களை அமைக்கவேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது. ஏனெனில் ஒரே ஒரு கோலைக்கொண்டு நியூட்ரான்களை விழுங்கச் செய்வதால் கோலில் மிகுந்த வெப்பம் உண்டாகி உஷ்ணநிலை அதிகரித்துப் பல சங்கடங்கள் ஏற்படுகின்றன. தவிரவும் அமைக்கப்பட்ட ஒரே கோலும் வேலை செய்யத் தவறினால் விபத்து ஏற்படும் என்பது கண்கூடு. மற்றும், பல கோல்களை அமைப்பதனால் கட்டுப்பாட்டுமுறை எளிதாகவும், வேண்டியபடி சமயத்திற்கேற்ப மாற்றிக்கொள்ளக் கூடியதாகவும் ஆகிறது.

கட்டுப்பாட்டுக் கோல்களைத் தனித்தனியாகவோ தொகுதிகளாவோ நகருமாறு அமைக்கலாம். கட்டுப்பாட்டுக் கோல்களை, அவை செய்யும் வேலையைப் பொறுத்து (i) காப்புக்கோல்கள்[3], (ii) தோராயக் கோல்கள்[4], (iii) ஒழுங்குபடுத்தும் கோல்கள் அல்லது நுட்பக் கோல்கள்[5] என அழைக்கின்றனர்.

---

1. screw jack, 2. gear 3. safety rods 4. shim rods 5. regulating rods.

காப்புக் கோல்கள்

சாதாரணமாக அணுஉலை செயல் புரிகையில், இவை உள்ளகத்திற்கு வெளியே அதன் மேல் புறத்தில் படத்தில் காட்டியவாறு உள்ளன. ஏதாவது இக்கட்டு நிலை[1] ஏற்படுகையில் உள்ளகத்தினுள் வெகு வேகமாகக் காப்புக் கோல்கள் செலுத்தப்படுகின்றன. இதனால் அணு உலையில் தொடர்கிரியை உடனடியாக நிறுத்தப்பட்டு அணுஉலைக்குச் சேதம் உண்டாகாமல் தடுக்கப்படுகின்றது. ஏற்படக்கூடிய விபத்தும் தவிர்க்கப்படுகின்றது. இவ்வாறு வேகமாக கோல்களை உள்ளகத்தினுள்ளே செலுத்த, சக்தியைச் சேமித்து வைத்துள்ள சுருள் வில்கள், அழுத்தம் நிறைந்த திரவங்கள் போன்றவை பயனாகின்றன. இவை கோல்களை இயக்கத் தவறினாலும், கோல்கள் தங்கள் எடையினாலேயே உள்ளகத்தில் விழுமாறு அமைக்கப்படுகின்றன.

இக்காப்புக் கோல்களைத் தவிர, மிகப் பெரிய அணுஉலைகளில் வேறு சில பாதுகாப்பு முறைகளும் காப்புக் கோல்களின் வேலைக்குத் துணையாக இருக்கும்படி கையாளப்படுகின்றன. இவை, பூகம்பம், போர் சமயத்தில் எதிரிகளின் குண்டுவீச்சு போன்ற எதிர்பாராத அவசர நிலைகளில் பயனாகின்றன. உதாரணமாக போரான் எஃகால் ஆன கோளங்களை உள்ளகத்தினுள் உருண்டு விழுமாறு செய்யலாம். திரவ நிலையில் உள்ள ட்ரைக்ளோர்பென்சின்[2] போன்ற உட்கவரும் பொருள்களை உள்ளகத்தினுள் பாயச் செய்யலாம்.

தோராயக் கோல்கள்

தேவைப்பட்ட ரியாக்டிவிடி மாற்றங்களை விரைவில் உண்டாக்குவதற்கு தோராயக் கோல்கள் உதவுகின்றன. இவற்றின் பெயரிலிருந்தே, இவற்றால் ஏற்படுத்தப்படும் ரியாக்டிவிடி மாற்றம் தேவைப்பட்ட அளவிற்கு ஏறக்குறையத்தான் சமமாக இருக்கும் என்று தெரிகிறது. துல்லியமாக ரியாக்டிவிடி மாற்றங்களை ஏற்படுத்த, பின்னர்க் கூறப்போகும் நுட்பக் கோல்கள் பயன்படுகின்றன.

தோராயக் கோல்கள் சிறிதளவே நகர்ந்தாலும் ஏற்படும் ரியாக்டிவிடி மாற்றம் மிக அதிகம். இவைகளால் கட்டுப்படுத்தக்கூடிய ரியாக்டிவிடி அணுஉலையை நிர்மாணிக்கும்பொழுது திட்டமிட்ட மிகை ரியாக்டிவிடியை[3] விட அதிகம். மிகுந்த ரியாக்டிவிடி மாற்றத்தை உண்டுபண்ணக்கூடியவையாதலால், இவை நகர்த்தப்படாமலிருக்கையில், சிறிதும் ஆடாமல் அசையாமல் இருந்த இடத்திலேயே ஸ்திரமாக இருக்குமாறு அமைக்கப்படுகின்றன. மேலும் இவை ரியாக்டிவிடியை அதிகப்படுத்தும் பொழுது ஒரு குறிப்பிட்ட

---

1. emergency 2. trichlor benzene
3. built-in excess reactivity.

வேகத்திற்கு மேல் நகர்த்தமுடியாதவாறு அமைக்கப்படுகின்றன. ஏனெனில், ரியாக்டிவிடி மாறும் வேகம் அதிகமானால் நியூட்ரான் தொகை கட்டுக்கடங்காமல் பெருக்கமடையக் கூடும்.

கட்டுப்பாட்டுக் கோல்கள் உள்ளகத்தினுள் உள்ள தானத்தையும் அவற்றின் இடப்பெயர்ச்சியையும் அளந்து, அவை ஏற்படுத்தும் ரியாக்டிவிடி மாற்றத்தை அறியலாம். பொதுவாக, உள்ளகத்தின் வெவ்வேறு தானங்களில், கோல்களின் சமமான இடப்பெயர்ச்சி சமமற்ற ரியாக்டிவிடி மாற்றத்தையே ஏற்படுத்துகிறது. ஆகவே ஒவ்வொரு கட்டுப்பாட்டுக் கோல் விளைவிக்கும் ரியாக்டிவிடி மாற்றத்தையும் பரிசோதனைகள் மூலம் அறிந்து, தானத்தையும் ரியாக்டிவிடியையும் சம்பந்தப்படுத்தும் வரைப்படங்கள் முதலில் கணிக்கப்படுகின்றன. பிறகு இவ்வரைப்படங்களைப் பயன்படுத்தி இடப்பெயர்ச்சியை அளந்து ரியாக்டிவிடி மாற்றங்கள் அளக்கப்படுகின்றன.

தோராயக் கோல்கள் நகரும்பொழுது ஏற்படும் ரியாக்டிவிடி மாற்றம் 0·00002 ஆக (அதாவது மிகச்சிறிய அளவினதாக) இருந்தாலும் அவற்றின் இடப்பெயர்ச்சியை அளந்து இம்மாற்றத்தை அறியமுடியும். அதாவது இடப்பெயர்ச்சியை அளக்கும் முறைகள் மிக மிக நுட்பமானவை ஆகும்.

முன் கூறியபடி, தோராயக் கோல்கள் ரியாக்டிவிடியில் மிகுந்த மாற்றம் விளைவிக்கவே பயனுகின்றன. உதாரணமாக அணுஉலையிலிருந்து வெளிப்படும் திறனை மிகுந்த அளவு மாற்றத் தேவை ஏற்படும்பொழுது இவற்றை உபயோகிக்கலாம். மேலும் எரிபொருள்களின் எரிவாலும் நச்சுப்பொருள்களின் வளர்ச்சியாலும் ஏற்படும் நெகட்டிவ் ரியாக்டிவிடியை ஈடுகட்ட தோராயக் கோல்களைக் கிரமமாக உள்ளகத்தினின்றும் நீக்கலாம்.

ஒழுங்கு படுத்தும் கோல்கள் அல்லது நுட்பக் கோல்கள்

இவை மிகுந்த அளவு நகர்த்தப்பட்டாலும் குறைந்த அளவு ரியாக்டிவிடி மாற்றமே ஏற்படுகிறது. பற்பல காரணங்களால், ரியாக்டிவிடியில் ஏற்படும் சிறுசிறு மாற்றங்கள் இக் கோல்களைக் கொண்டே சரிக்கட்டப்படுகின்றன. இக் கோல்கள் ஏற்படுத்தும் 0·00001 அளவு ரியாக்டிவிடி மாற்றத்தையும், இடப் பெயர்ச்சியை அளந்து அறியலாம். ரியாக்டிவிடியைத் துல்லியமாகக் கட்டுப்படுத்த வேண்டியது அவசியம். ஆகவே ஒரு தானியங்கு தானக் கட்டுப்பாட்டுமுறை[1] திட்டமிடப்படுகிறது. அணுஉலை உள்ளகத்தில் ஏற்படும் ரியாக்டிவிடி மாற்றத்தையும் உடனடியாக ஈடு செய்வதற்காக இந்த தானக் கட்டுப்பாட்டுமுறை

1. automatic position control system.

துரிதமாக வேலை செய்யுமாறு அமைக்கப்படுகின்றது. அதாவது நுட்பக் கோல்களை விரைவாக நகர்த்தக் கூடுமாறு திட்டமிடப்படுகிறது.

அணுஉலையை நிறுத்துவதற்கோ, அபாய காலங்களில் அணு உலையைக் கெடுதியிலிருந்து காக்கவோ நுட்பக் கோல்கள் பயன்படா. உள்ளகத்தினின்று இவை முழுவதும் வெளியேற்றப்பட்டாலும், அணு உலைத்திறன் மிக மெதுவான வீதத்திலேயே அதிகரிக்கிறது. ஆகவே தகுந்த கால அளவிற்குள் பெருமளவு திறன் மாற்றத்தை ஏற்படுத்த நுட்பக் கோல்களை உபயோகிக்க முடியாது. இவை அணுஉலையைச் சீராக இயக்குவதற்கே பயன்படுகின்றன.

உள்ளகத்தினுள் கட்டுப்பாட்டுக் கோல்களின் அமைவிடம்[1]

கட்டுப்பாட்டுக் கோலின் கட்டுப்படுத்தும் திறமை, உள்ளகத்தினுள் அதன் அமைவிடத்தைப் பொறுத்துள்ளது. இதைக் கருத்தில் கொண்டே உள்ளகத்தின் எந்தெந்த இடங்களில் கட்டுப்பாட்டுக் கோல்கள் அமையவேண்டும் என்று நிர்ணயம் செய்யப்படுகிறது. பொதுவாகப் பின்வருபவனவற்றைக் கருத வேண்டும்.

(i) பல கோல்கள் ஒன்றையொன்று அடுத்து நெருங்கி உள்ள பொழுது, உள்ளகத்தினுள் செலுத்தப்படும் கோல்களின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்க அதிகரிக்க, கோல்களின் அருகே நியூட்ரான் தொகை குறைந்து கொண்டே செல்லுகிறது. எனவே கோல்களினுல் கிரகிக்கப் படும் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் குறைகிறது. ஆகவே கோல் களின் கட்டுப்படுத்தும் திறமையும், அவை ஒன்றன் பின் ஒன்ருகச் செலுத்தப்படும் பொழுது கிரமமாகக் குறைந்து கொண்டே போகின்றது. அதாவது செலுத்தப்பட்ட ஒவ்வொரு கோலின் கட்டுப் படுத்தும் திறமை அதன் முன் செலுத்தப்பட்ட கோலின் கட்டுப்படுத்தும் திறமையைவிடக் குறைவு.

(ii) அணுஉலையிலிருந்து வெளிப்படும் திறன் மாருதவரை உள்ளகத்தின் நடுவே செலுத்தப்படும் கோல், உள்ளகத்தின் மத்திய பாகத்தில் நியூட்ரான் தொகையைக் குறைத்து ஓரப்பகுதிகளில் செலுத்தப்படும் கோல்களின் கட்டுப்படுத்தும் திறமையையும் அதிகரிக் கின்றது.

(iii) தேர்ந்த முறையில், உள்ளகத்தினுள் கோல்களைச் செலுத்துவ தால் உள்ளகம் முழுவதும் நியூட்ரான் தொகை சீராக இருக்கும்படி செய்யலாம். இதனுல் பல அனுகூலங்கள் உள்ளன. உதாரணமாக உஷ்ணநிலை எல்லாப் பாகங்களிலும் ஒரே மதிப்புடன் சீராக இருப் பதால், உஷ்ணநிலை வித்தியாசங்களால் ஏற்படக்கூடிய பாதகமான விளைவுகள் தவிர்க்கப்படுகின்றன.

---

1. location.

கட்டுப்பாட்டுக் கோல்களைத் திட்டமிடுகையில் கவனிக்க வேண்டிய மற்ற விஷயங்கள்

(i) கட்டுப்பாட்டுக் கோல்கள் நியூட்ரான்களை கிரகிக்கையில் ஏற்படும் வெப்பத்தினால் கோல்களின் உஷ்ணநிலை அதிகரிக்கும். இந்த உஷ்ணநிலை அதிக அளவு உயர்ந்து கோல்களைப் பாதிக்காத வண்ணம் வெப்பத்தை வெளியேற்ற, தகுந்த ஆற்றிகளைப் பயன்படுத்த வேண்டும். மிகப் பெரிய அணுஉலைகளில் இது மிகவும் முக்கியமான அம்சம் ஆகும்.

(ii) காப்புக் கோல்களும் தோராயக் கோல்களும் கீழ் நோக்கி வேகமாய் நகர்கையில் முடிவில் ஏற்படும் பலமான அதிர்ச்சியைத் தவிர்க்க வேண்டும். இதற்கு சுருள்வில், அடியில் துளை கொண்டதும் நீர் நிறைந்ததுமான பாண்டம்[1] போன்ற உபகரணங்கள் உபயோகமாகின்றன. இவை கோல்களின் இயங்கு சக்தியை வாங்கிக் கொண்டு கோல்களை விரைவில் சிறிதளவு தூரத்திற்குள் நிறுத்திவிடுகின்றன.

(iii) கோல்கள் மேலும் கீழும் நகர்கையில் ஒரு பக்கமாகச் சரியாமல் நேர்குத்தாக நகரச் செய்யவேண்டும். இதற்கு வழிப்படுத்தும் உபகரணங்கள்[2] அமைக்கப்படுகின்றன.

(iv) எந்திர சாதனங்களில் பழுது ஏற்பட்டாலும், இவை வேலை செய்யத் தவறினாலும் ஏற்படும் விளைவு அபாயமற்றதாக[42] இருக்க வேண்டும். உதாரணமாக மின்சக்தி வினியோகம் தடைப்பட்டால், மின் காந்தப்பிடிகளுக்கு அளிக்கப்படும் மின்தொடர்பு துண்டிக்கப்படுகிறது. எனவே காப்புக் கோல்கள், பிடிப்பிலிருந்து விடுபட்டு உள்ளகத்தில் விழுகின்றன. அணுஉலை உடனே நிறுத்தப்படுகிறது.

(v) நியூட்ரான்களை கிரகிக்கும் பொருள்களின் அளவு நாளடைவில் கட்டுப்பாட்டுக் கோல்களில் குறைந்து கொண்டே போகிறது. இதன் காரணம் நியூட்ரான்களை கிரகித்த பின் இப்பொருள்கள் கருக்கிரியை காரணமாக வேறு புதிய பொருள்களாக மாறுவதே. ஆகவே ஒரு கட்டத்தில், பயன்பட்ட கட்டுப்பாட்டுக் கோல்களை நீக்கி, பதிலாகப் புதிய கோல்களை வைக்கவேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது. எனவே கட்டுப்பாட்டுக் கோல்களை மாற்ற வேண்டிய அவசியம் நீண்டகாலம் வரை ஏற்படாமலிருப்பதற்கு, முதலிலேயே, கட்டுப்பாட்டுக் கோல்களில், நியூட்ரானை கிரகிக்கும் பொருள்களைப் போதிய அளவு எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும்.

அணுமின்நிலையக் கட்டுப்பாடு[4]

தேவைப்பட்ட திறனையே அணுஉலை வெளிப்படுத்துமாறு செய்வது அணுமின் நிலையக் கட்டுப்பாட்டின் நோக்கமாகும்.

---

1. dash pot 2. guides 3. fail-safe
4. nuclear power plant control.

அணுஉலையிலிருந்து வெளியாகும் திறனும் (அதாவது மின்சாரமாகப் பயன்படுத்தப்படும் திறன்) தேவையான திறனும் சமமாக இருந்தால், திறன் சமநிலை நிலவுகிறது என்கிறோம். திடீரென்று திறன் தேவையில் மாற்றம் ஏற்பட்டால், திறன்சமநிலை பாதிக்கப்படுகிறது. உதாரணமாக, திறன் தேவை குறைந்தால், அணுஉலையிலிருந்து வெளிப்படும் திறன், தேவைக்குமேல் மிகையாக இருப்பதால், பல பகுதியில் உஷ்ணநிலையை அதிகரிக்க முற்படுகிறது. இதன் விளைவாக இதுவரை பூஜ்யமாக இருந்த ரியாக்டிவிடியின் மதிப்பில் மாற்றம் ஏற்படுகிறது. இந்த ரியாக்டிவிடி மாற்றத்தைக் கண்டறிந்து ஈடுகட்டுவதே அணுமின் நிலையக் கட்டுப்பாட்டின் வேலை ஆகும். இவ்வாறு செய்வதற்குப் பல முறைகள் பயன்படுகின்றன. ஒவ்வொரு முறையிலும், ஒரு குறிப்பிட்ட மாதிரியில் வெவ்வேறு பகுதிகளின் உஷ்ணநிலையும் அங்குள்ள அழுத்தமும் அமைகின்றன. எந்தெந்த இடங்களில் என்ன என்ன உஷ்ணநிலையும் அழுத்தமும் நிலவவேண்டும் என்று முன்கூட்டியே நிர்ணயம் செய்துகொள்வதைக் கட்டுப்பாட்டு நிரல்[1] அமைத்தல் என்று சொல்லுகிறோம். முக்கியமாக 'இரண்டு வகைக் கட்டுப்பாட்டு நிரல்களைக் குறிப்பிடலாம். முதல்வகையில் அணுஉலை வழியே பாயும் பிரதம ஆற்றியின் சராசரி உஷ்ணநிலை (அணுஉலையிலிருந்து வெளிப்படும் திறன் மாறினாலும்) மாறாதவாறு கட்டுப்படுத்தப் படுகிறது. மற்றொரு வகையில் டர்பைனுக்கு அளிக்கப் படும் நீராவியின் உஷ்ணநிலை மாறாதவாறு கட்டுப்படுத்தப் படுகிறது. இவ்விரு வகை நிரல்களிலும் சில நற்பயன்களும் சில குறைபாடுகளும் உள்ளன. இவற்றை அட்டவணை 7-1இல் காணலாம்.

புறக்கட்டுப்பாட்டு முறை

இம்முறையில் கட்டுப்பாட்டுக் கோல்களின் உதவிகொண்டு, திறன் தேவை மாற்றங்களுக்கு ஏற்றவாறு ரியாக்டிவிடியில் மாற்றங்கள் செய்து, எப்பொழுதும் அணுஉலையிலிருந்து வெளிப்படும் திறனைத் தேவைக் குத் தக்கவாறு மாற்றலாம். இது அணுமின்நிலையக் கட்டுப்பாட்டு முறையின் ஒரு அம்சமேயாகும். ஏனெனில், முன்கூறிய முதல்வகைக் கட்டுப்பாட்டு நிரலில், அணுஉலையில் ஏற்படும் உஷ்ணநிலை மாற்றங் களே, திறன் தேவைக்கேற்றவாறு அணுஉலையிலிருந்து வெளிப்படும் திறனை மாற்றியமைக்கின்றன. இவ்வாறு அணுஉலையில், தன்னைத் தானே ஒழுங்குபடுத்திக் கொள்ளும் நிலை[2] (அதாவது அணுஉலையி லிருந்து வெளிப்படும் திறனை திறன் தேவைக்குச் சமமாக எப்பொழுதும் இருக்கும்படி தானாகவே சரிப்படுத்திக்கொள்ளும் நிலை) ஏற்படுவதால்

---

1. control programme 2. self-regulation.

இம்மாதிரியான கட்டுப்பாட்டு நிலையில் புறக்கட்டுப்பாட்டு முறையின் முக்கியத்துவம் குறைகின்றது.

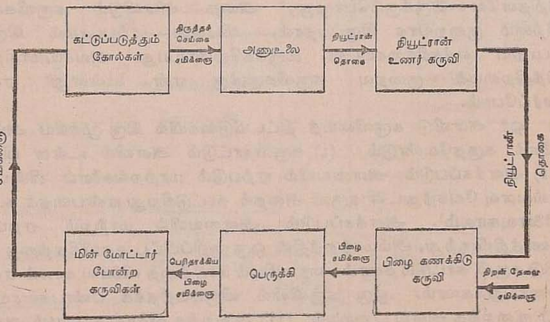
அட்டவணை 7-1

பிரதம ஆற்றி சராசரி உஷ்ணநிலை மாருத கட்டுப்பாட்டு நிரல்	டர்பைன் புகும் நீராவி உஷ்ண நிலை மாருத கட்டுப்பாட்டு நிரல்
(1) எரிபொருளின் எரிவு நச்சுப் பொருள்களின் ஆக்கம் இவற்ருல் விளையும் விளைவுகளுக்காக மாத்திரம் ஒரு புறக்கட்டுப்பாட்டு முறை[1] (அதாவது கட்டுப்பாட்டுக் கோல்களைப் பயன்படுத்தும் முறை) தேவைப்படுகிறது. அணு உலை சாதாரணமாகச் செயல்புரிகையில், திறன் தேவையில் ஏற்படும் மாற்றங்களை கவனிக்க புறக்கட்டுப்பாட்டு முறை அவசியம் இல்லை. ஆகவே இந்த புறக்கட்டுப்பாட்டு முறை மெதுவாக இயங்குவதாக இருந்தாலே போதுமானது.	(1) திறன் தேவையில் ஏற்படும் மாற்றங்களைக் கவனிப்பதற்குப் புறக்கட்டுப்பாட்டு முறை தேவைப்படுகிறது. ஆகவே இம்முறை விரைவில் செயல்படக் கூடியதாக அமைக்கப்பட வேண்டும்.
(2) பிரதம ஆற்றியின் கன அளவில் ஏற்படும் மாற்றம், உஷ்ண நிலை மாருத காரணம் பற்றி, மிகக் குறைவே. ஆகவே பெரிய பரிமாணங்களை உடைய எழுச்சிக் கலன்[2] தேவைப்படுவதில்லை.	(2) பிரதம ஆற்றியின் உஷ்ண நிலை அதிக அளவு மாறக்கூடுமாதலால் அதன் கன அளவில் ஏற்படும் மாற்றங்களை ஏற்றுக்கொள்ளும் எழுச்சிக்கலன் பெரியதாக இருக்க வேண்டும்.
(3) நீராவியின் அழுத்தத்தில் அதிக அளவு மாற்றங்கள் ஏற்படக் கூடும். ஆதலால், தடித்த குழாய்கள், விசேஷமாகக் கட்டப்பட்ட டர்பைன்கள், பம்ப்புகள், வால்வுகள் தேவைப்படுகின்றன. இவை விலையுயர்ந்தவை.	(3) நீராவியின் உஷ்ணநிலையில் மாற்றம் இல்லாததால் நீராவியின் அழுத்தத்திலும் மாற்றம் ஏற்படுவது இல்லை. ஆகவே விலையுயர்ந்த விசேஷ சாதனங்கள் தேவைப்படுவதில்லை.

புறக்கட்டுப்பாட்டு முறையும் மற்ற, தானியங்கு கட்டுப்பாட்டு முறைகளைப் போன்றதே. இம்முறையில் நியூட்ரான் பாய்திரளே கட்டுப்படுத்தப்படும் 'மாறி' ஆகும். பாய்திரள் அணுஉலையி

1. external control system 2. surge tank.

லிருந்து வெளிப்படும் திறனைத் தீர்மானிக்கின்றது. ஆக, பாய் திரனை அளப்பதால், வெளிப்படும் திறனை அறியலாம். தேவையான திறனுக்கும், வெளிப்படும் திறனுக்கும் உள்ள வித்தியாசத்தை அளந்து அதற்குத் தக்கவாறு கட்டுப்பாட்டுக் கோல்களை இயக்கி, இரண்டிற்கும் வித்தியாசமில்லாமல் செய்வதே புறக் கட்டுப்பாட்டு முறையின் நோக்கமாகும். படம் 7-4 இதைத் தெளிவாக்குகிறது.



படம் 7-4. பாய்திரன் கட்டுப்பாடு

நடைமுறையில் அனுசரிக்கப்படும் அணுமின்நிலையக் கட்டுப்பாட்டு முறையானது முன்பு குறிப்பிட்ட இருவகைக் கட்டுப்பாட்டு நிரல்களையும் சமயத்திற்கேற்பத் தழுவுகின்ற ஓர் இடைப்பட்ட கட்டுப்பாட்டு நிரலைக் கொண்டது. இவ்வாறு செய்வதால், இரண்டு வகை நிரல்களின் நற்பயன்களை எடுத்துக் கொண்டு குறைபாடுகளால் ஏற்படும் இடர்ப்பாடுகளைக் குறைக்க முடிகிறது. எனவே, புறக்கட்டுப்பாட்டு முறையும் தேவைப்படுகிறது.

அணுஉலையைத் தொடக்குதல்

அணுஉலையில் தொடர்கிரியை நிகழாமல் இருக்கும் நிலையை அணு உலை நிறுத்தப்பட்ட நிலை என்று சொல்கிறோம். இந்நிலையிலுள்ள அணு உலையில் தொடர்கிரியை ஏற்பட வழிவகுத்து, நியூட்ரான் தொகையைப் பெருக்கி, தேவையான அளவு திறன் வெளிப்படும்போது ரியாக்டிவிடியை பூஜ்யமாகச் செய்து அணுஉலையை வரம்பு நிலையில் இருக்குமாறு

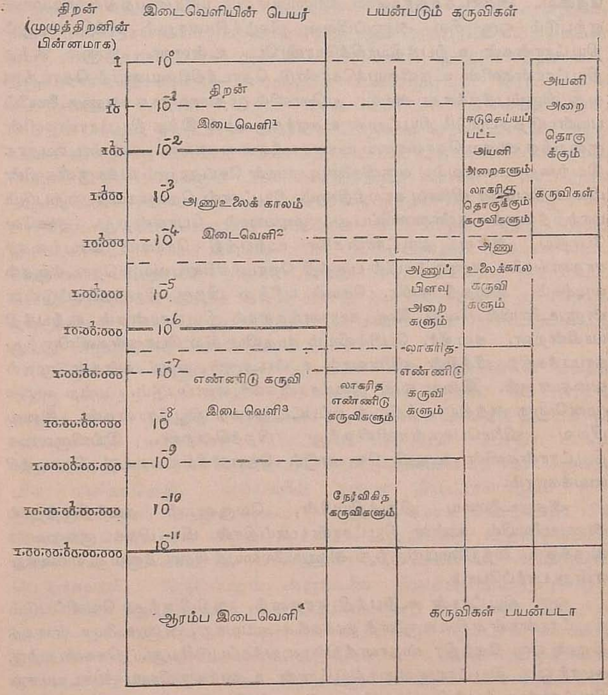
செய்வதையே நாம் 'அணுஉலையைத் தொடக்குதல்' என்று குறிப்பிடுகிறோம். இவ்வாறு செய்யும் பொழுது நியூட்ரான் பாய்திரளின் அளவு, செகண்டிற்குச் சதுர சென்டிமீட்டருக்கு ஒரு சில நூறு நியூட்ரான்களிலிருந்து பல்லாயிரங் கோடி நியூட்ரான்கள் வரை அதிகரிக்கின்றது. பாய்திரளின் அளவைப் பெருக்கும் பொழுது போதுமான கட்டுப்பாடு இல்லாவிடில் நியூட்ரான் தொகைப் பெருக்கம் கட்டுக்கடங்காமல் செய்து விபத்து ஏற்பட வாய்ப்பு உண்டு. கட்டுப்பாடு செய்ய நியூட்ரான் பாய்திரளை எல்லா நிலையிலும் அளக்க வேண்டும். நியூட்ரான் தொகை சிறிதளவே இருக்கும்பொழுது, அதை அளவிடும் கருவிகளின் திறமை குறைவாக இருப்பதால், விபத்து ஏற்படாமல் இருக்க போதிய எச்சரிக்கையுடன் இருக்கவேண்டியது அவசியமாகிறது. இத்திறமைக் குறைவு கருவிகளுக்கு ஏன் உள்ளது என்று பார்ப்போம்.

ஓர் அளவிடு கருவியைத் திட்டமிடுகையில் இரு முக்கிய அம்சங்களைக் கருதவேண்டும்: (i) கருவிகாட்டும் அளவில் உள்ள பிழை, (ii) அளக்கப்படும் அளவையில் ஏற்படும் மாற்றங்களைப் பின்பற்றி எவ்வளவு வேகத்துடன் கருவி அதைக் காட்டுகிறது என்பதைக் கூறும் விளைவுகாலம்[1]. அளக்கப்படும் அளவையில் மாற்றம் ஏற்பட்ட கணத்திலிருந்து, அம்மாற்றத்தின் ஒரு குறிப்பிட்ட சதவிகிதத்தை அளவிடு கருவி காட்டும் கணம்வரை கழியும் காலத்தை விளைவு காலம் என்று வரையறுக்கலாம். ஒரு கருவியில் விரும்பத்தக்க பண்புகளாவன: (i) குறைந்த அளவு பிழையும் (ii) குறைந்த விளைவு காலமும் ஆகும். பொதுவாக, பிழையைக் குறைவாகக் கொண்ட கருவிகளுக்கு விளைவு காலம் அதிகம். முக்கியமாக, பாய்திரளை அளவிடும் மின்கருவிகள் குறைந்த அளவு பாய்திரளைத் துல்லியமாக அளக்க வேண்டுமானால் அவை நீண்ட விளைவு காலத்துடன் வேலை செய்யும்படியான நிர்ப்பந்தம் ஏற்படுகிறது. இவற்றால் நியூட்ரான் பாய்திரள் குறைவாக இருக்கும் போது அது அதிக வேகத்துடன் பெருகுமேயானால், அளவிடு கருவிகள் பாய்திரளில் ஏற்படும் மாற்றத்தை உணர்ந்து அளவிடுவதற்குள், பாய்திரள் அபாயகரமான மதிப்பை அடையக்கூடும். ஆகவே நியூட்ரான் பாய்திரள் குறைவான அளவுடன் இருக்கையில் அதன் பெருக்க வீதத்தை மிகக் குறைவாக இருக்கும்படி கட்டுப்படுத்த வேண்டும்.

அளவிடு கருவிகளின் திறமைக் குறைவைத் தவிர மற்றொரு பிரச்சினையும் எழுகிறது. ஒரே உணர்கருவியால் (அல்லது அளவிடு கருவியால்) ஒரு சில நூறிலிருந்து பல ஆயிரங்கோடி வரை பெருகும் பாய்திரளை அளக்க முடியாது. எனவே ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட பல

1. response time.

கருவிகளைப் பயன்படுத்த வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது. முதலில் அணுஉலையிலிருந்து வெளிப்படும் திறனுக்கும், அணுஉலையைத்



படம் 7-5. திறன் அளவீட்டுப் பகுதிகள்

தொடக்கியபின் அதிலிருந்து வெளிப்படும் திறனுக்கும் உள்ள இடைவெளி மிக அதிகமாக உள்ளதால் இந்த இடைவெளியைப் பொதுவாக நான்கு பகுதிகளாகப் பிரிப்பது வழக்கம். இவ்வாறு

1. power range 2. period range 3. counter range 4. source range.

பிரிக்கப்படும் விதத்தையும் இப்பகுதிகளில் உபயோகமாகும் அளவிடு கருவிகளையும் படம் 7-5 விளக்குகிறது.

அணுஉலையில் தொடர்கிரியையைத் தொடங்கிவைக்க நியூட்ரான்கள் தேவை. அண்டக்கதிர்களின் கிரியையாலும் யுரேனியத்தில் சுயமாக[1] ஏற்படும் ஒரு சில அணுப்பிளவு நிகழ்ச்சிகளாலும் எப்பொழுதும் நியூட்ரான்கள் உற்பத்தியாகிக்கொண்டே உள்ளன. ஆனால் இந்த நியூட்ரான்களின் உதவியைக்கொண்டு தொடர்கிரியையைத் தொடங்குவது விரும்பத்தக்கது அல்ல. ஏனெனில் முதலாவதாக அணுஉலையில் பயன்படுத்தப்படும் நியூட்ரான் உணர்கருவிகள் இந்த நியூட்ரான்களின் குறைந்த அளவு தொகையை உணரவல்லவை அல்ல. இரண்டாவதாக இவற்றை உணரவல்ல கருவிகளை டிஸைன் செய்தாலும் இக்கருவிகளின் மிக அதிகமான விளைவு காலத்தினால் நியூட்ரான் தொகையில் ஏற்படும் மாற்றத்தைக் கண்காணிப்பது முடியாமல் போகின்றது. ஆகவே போதிய அளவு நியூட்ரான்களை உற்பத்தி செய்யும் செயற்கைச் சாதனங்களை அணுஉலையில் புகுத்தி தொடர்கிரியையைத் தொடக்குதல் வழக்கம். இதைத் தவிர, செயல் புரிந்து பிறகு நிறுத்தப்பட்டுள்ள அணுஉலையில் வேறு இரு காரணங்களால் நியூட்ரான்கள் உற்பத்தியாகின்றன. கனநீர், பெரில்லியம் முதலிய சில பொருள்களிலிருந்து காமாக்கதிர் வீச்சின் விளைவால் உண்டாகும் நியூட்ரான்கள் முதல் வகையாகும். இவை ஒளி நியூட்ரான்கள்[2] எனப்படும். மற்ற வகை முன்னொரு அத்தியாயத்தில் கூறப்பட்ட தாமத நியூட்ரான்கள். இவை பிளவு விளைபொருள்களிலிருந்து பிறக்கின்றன. இவ்விருவகை நியூட்ரான்களின் உதவி கொண்டும் தொடர்கிரியையைத் தொடக்கி வைக்கலாம்.

அணுஉலையை நிறுத்தியபின், வெகுகாலம் கடந்திருந்தால் அணுஉலையில் உள்ள நியூட்ரான் பாய்திரள் மிக மிகக் குறைவாக இருக்கும். இந்நிலையிலிருந்து அணுஉலையைத் தொடக்குவது எவ்வாறு என்று பார்ப்போம்.

ஒரு நியூட்ரான் உற்பத்தி சாதனம், அதிலிருந்து வெளிப்படும் நியூட்ரான்கள் எரிபொருளைத் தாக்கக் கூடியவாறு, அணுஉலை உள்ளகத்தினுள் ஒரு கேந்திர ஸ்தானத்தில் வைக்கப்படுகிறது. செகண்டிற்கு சுமார் ஒரு நியூட்ரானாவது நியூட்ரான் உணர்கருவியை அடையுமாறு நியூட்ரான் உற்பத்தி சாதனத்தை அமைக்கவேண்டும். உணர்கருவிகள் நியூட்ரான்களை உணர்ந்து காட்டாத வரை கட்டுப்பாட்டுக் கோல்களை உள்ளகத்திலிருந்து வெளியேற்ற முடியாதவாறு பிணைத்தளைகள்[3] ஏற்படுத்தப்பட்டிருக்கும். உணர்கருவிகள் நியூட்ரான்களைப் பதிவு செய்ய ஆரம்பித்தவுடன் கோல்கள் ஓர் உச்ச வரம்பிற்குட்பட்ட வேகத்தில் மெதுவாக வெளியே இழுக்கப்படுகின்றன. 'எண்ணிடு

---

1. spontaneous 2. photoneutrons 5. interlocks.

கருவி இடைவெளி'யில், இவ்வாறு வெளிவாங்குவது விட்டுவிட்டுச் செய்யப்படும். உதாரணமாக, ஒரு செகண்டு நேரம் கோல்கள் வெளியே நகர்த்தப்பட்டால் தொடர்ந்து ஐந்து செகண்டு ஓய்வளிக்கப்படும். அணுஉலை வரம்புநிலையை அடையாத வரை, ஓய்வு காலத்தில், நியூட்ரான் தொகையில் பெருக்கம் ஏற்படாது. வரம்புநிலை எய்தியவுடன் நியூட்ரான் தொகையில் பெருக்கம் ஏற்படுவதால், ஓய்வுகாலத்தில் கூட நியூட்ரான் தொகையில் மாற்றத்தை உணரமுடியும். வரம்பு நிலை பொதுவாக 'எண்ணிடு கருவி இடைவெளி'யிலேயே எய்தப்படும். போதிய அளவு நியூட்ரான் தொகை பெருக்கம் ஏற்பட்டவுடன் அணு உலைக் காலத்தை அளவிட வேண்டிய அவசியம் உள்ளது. இப்பொழுது அணுஉலைக்காலக் கருவி உபயோகத்திற்குக் கொண்டு வரப்படும். அணுஉலைக்காலம் சுமாராக 10 செகண்டு முதல் 20 செகண்டு வரை இருக்குமாறு கட்டுப்பாட்டுக் கோல்கள் இப்பொழுதிலிருந்து முழுத் திறன் அடையும் வரை இயக்கப்படும். இந்த 'அணுஉலைக்கால இடை வெளி'யை அணுஉலை எய்தும் வரை கோல்களை ஒரு குறிப்பிட்ட வேகத்திற்குமேல் நகர்த்த முடியாதவாறு ஒரு பிணைத்தளை தடுக்கிறது. முழுத்திறன் கிடைக்க ஆரம்பித்தவுடன் தானியங்கு புறக்கட்டுப்பாட்டு முறை அமுலுக்குக் கொண்டுவரப்படுகிறது.

இதுவரை அணுஉலையை நிறுத்திய பின் வெகுகாலம் கடந்த பிறகு அதைத் தொடக்கும் முறையைப் பார்த்தோம். இப்பொழுது அணுஉலையை நிறுத்தி வெகுகாலம் கடக்காவிடில் அதைத் தொடக்கும் முறையைப் பார்ப்போம். நியூட்ரான் பாய்திரள் போதிய அளவு அதிகமாக இருப்பதால் இந்நிலையில் தொடர்கிரியையைத் தொடக்குவது மிக எளிதாகிறது. ஏனெனில் தாமத நியூட்ரான்களும் ஒளி நியூட்ரான்களும் அணுஉலையை 'அணுஉலைக்கால இடைவெளி'யில் இருக்கச் செய்வதால் அணுஉலைக்காலக் கருவிகளின் உதவிகொண்டு விரைவாக அபாயமின்றி, பாய்திரளைத் தேவைப்பட்ட அளவிற்குப் பெருக்கலாம். இருப்பினும் அணுஉலை நிறுத்தியதிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்திற்குள் தொடர்கிரியையைத் திரும்பவும் தொடக்கா விடில், நச்சுப்பொருள்கள் அளவில் அதிகரித்து தொடர்கிரியையைத் தொடக்க முடியாமல் போகலாம். இந்நிலைமையில் நச்சுப்பொருள்களின் அளவு அவற்றின் கதிரியக்கச் சிதைவினால் போதிய அளவு குறையும் வரை காத்திருக்கவேண்டும். உதாரணமாக, கனநீரைத் தணிப்பா னாகவும் இயற்கை யுரேனியத்தை எரிபொருளாகவும் கொண்ட அணு உலைகளில், நிறுத்திய அரைமணி நேரத்திற்குள் தொடர்கிரியையைத் தொடங்காவிட்டால், 30 மணி நேரம் கடக்கும் வரை காத்திருக்க வேண்டும். தொடக்க காலத்தில் விபத்து ஏற்படாமல் தடுக்க கீழ்க் கண்டவாறு கட்டுப்பாடுகள் செய்யப்படுகின்றன.

(1) அணுஉலைக் காலம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவைவிடக் குறையு மானால் கட்டுப்பாட்டுக் கோல்கள் தாமாகவே உள்ளகத்தினுள் விழும்.

(2) ஒரு குறிப்பிட்ட வேகத்தைவிட அதிகமான வேகத்துடன் கட்டுப்பாட்டுக் கோல்களை உள்ளகத்தினின்று வெளியேற்ற முடியாது.

(3) நியூட்ரான் பாய்திரள் ஒரு குறித்த வரம்பிற்கு மேல் அதிகமானுல் கட்டுப்பாட்டுக் கோல்கள் உள்ளகத்தினுள் விழும்.

அணுஉலை முழுத்திறனில் வேலை செய்தல்[1]

முழுத்திறனைச் சீராக அளிக்கும் நிலையை அணுஉலை எய்திவிட்டால் பிறகு அது வேலை செய்வது அபாயமற்றதாக இருக்கும். இந்நிலையில், தானியங்கு கட்டுப்பாட்டுமுறை அவ்வப்பொழுது ரியாக்டிவிடியில் ஏற்படும் சிறு மாற்றங்களை ஈடு செய்து ஒரே சீராகத் திறனை வெளிப்படச் செய்கிறது.

அணுஉலையை நிறுத்துதல்[2]

பொதுவாக இரண்டு காரணங்களுக்காக அணுஉலைகள் நிறுத்தப்படுகின்றன. முதலாவது, அவ்வப்பொழுது செய்யவேண்டிய பராமரிப்பு வேலைகளுக்காகவும், சில பாகங்கள் பழுதடையும் பொழுது அவற்றைச் செப்பனிடுவதற்காகவும் சில வகை அணுமின் நிலையங்களில் எரிபொருள் இடுவதற்காகவும் நிறுத்துதல். மற்றது எதிர்பாராமல் ஏற்படும் இக்கட்டு நிலையைச் சமாளிக்கவும் பாதுகாப்பிற்காகவும் திடீரென்று நிறுத்துதல். பின்னர்ச் சொன்ன ‘திடீரென்று நிறுத்தும் நிலை’ ஏற்படுவதைக் கூடுமானவரைத் தவிர்க்க வேண்டும். திடீரென்று நிறுத்துவதற்கு உரிய காரணங்களை அடுத்துவரும் பகுதியில் காணலாம்.

பாதுகாப்பு முறைகள்[3]

ஏற்படும் அபாய நிலையின் விளைவுகளுக்கும் தீவிரத்திற்கும் ஏற்ப, பற்பல நடவடிக்கைகள் நெருக்கடியைச் சமாளிக்கவும் பாதுகாப்பிற்காகவும் எடுத்துக்கொள்ளப்படுகின்றன. இவையாவன :

(1) அணுஉலைக்காலக் கீழ் வரம்பு[4] : இது முன்பே கூறியபடி அணுஉலைக் காலம் ஒரு குறித்த வரம்பிற்குக் கீழே போனுல் ரியாக்டிவிடியை மேலும் அதிகரிக்காதவாறு செய்தல்.

(2) பாய்திரள் அல்லது திரளின் மேல் வரம்பு[5] : இதுவும் முன்னமே கூறியது. பாய்திரள் ஒரு வரம்பிற்கு மேலும் அதிகரிக்காதவாறு செய்தல்.

---

1. operation at full power
2. shut-down of a reactor
3. safety systems
4. period limit
5. flux or power limit.

(3) பின் வாங்குதல்[1]: மெதுவாக ரியாக்டிவிடியைக் குறையச் செய்தல்.

(4) திடீர் நிறுத்தம்[2]: துரிதமாக ரியாக்டிவிடியைக் குறையும்படி செய்தல்.

(5) துணை நிறுத்தம்[3]: மிக நெருக்கடியான சந்தர்ப்பங்களில் திடீர் நிறுத்தத்திற்குத் துணை புரியுமாறு மற்ருெரு தனிப்பட்ட முறையில் விரைவாக ரியாக்டிவிடியைக் குறைத்தல்.

நியூட்ரான் உணர் கருவிகளிலிருந்து வரும் சமிக்ஞைகளைத் தவிர கீழ்க்கண்ட காரணங்களுக்காகவும் அணுஉலை நிறுத்தப்படுகின்றது.

(1) உள்ளகத்தில் உள்ள நிர்மாணப் பொருள்களின் மித மிஞ்சிய உஷ்ணநிலை.

(2) உள்ளகத்திற்குள் புகும் ஆற்றியின் மித மிஞ்சிய உஷ்ணநிலை.

(3) உள்ளகத்தினின்று வெளியேறும் ஆற்றியின் மித மிஞ்சிய உஷ்ணநிலை.

(4) அணுஉலையின் எந்த பாகத்திலும் உள்ள மிகக் குறைவான அழுத்தம்.

(5) ஆற்றி உள்ளகத்தினுள் பாயும்பொழுது ஏற்படும் மித மிஞ்சிய அழுத்தக் குறைவு.

(6) பம்ப்புகள் வேலை செய்யத்தவறுதல், ஆற்றியின் ஓட்டத்தில் குறைவு, ஆற்றியின் கசிவு.

(7) மின்சார வினியோகம் தடைப்படுதல்.

(8) கட்டுப்பாட்டுக் கோல்களைச் சுற்றும் ஆற்றியின் ஓட்டக் குறைவு.

(9) இரண்டாம் ஆற்றியின் சுற்ரோட்டப் பாதையில் கதிரியக்கம் அதிகரித்தல்.

(10) அணுஉலைக் கட்டிடத்தில் கதிரியக்கம் அதிகரித்தல்.

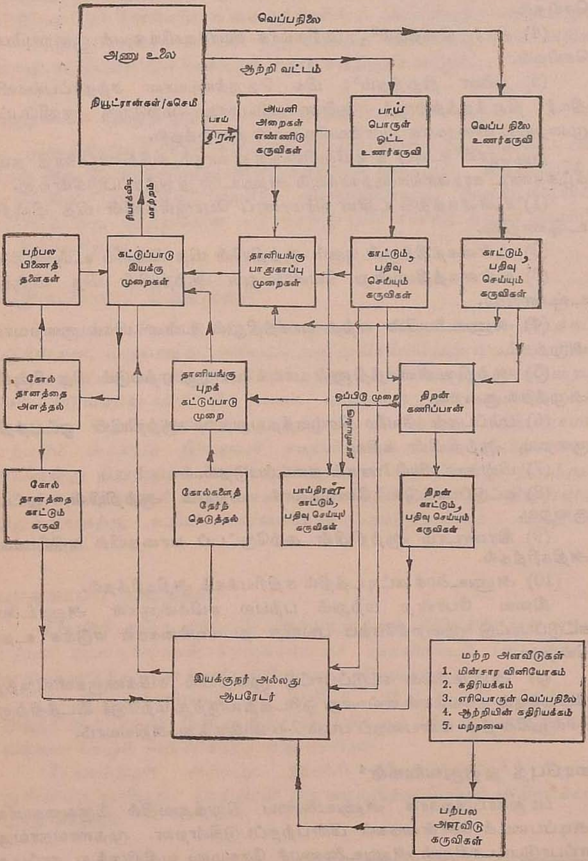
இவை போன்ற மற்றும் பற்பல சமிக்ஞைகள் அணுஉலைக் கட்டுப்பாட்டு முறைக்கேற்ப பலவித நடவடிக்கைகள் எடுக்க உதவுகின்றன.

ஓர் அணுஉலைக் கட்டுப்பாட்டு முறையில் சமிக்ஞைகளிலிருந்து கிடைக்கும் தகவல்கள் எவ்வாறு ஓரிடத்திலிருந்து மற்ரோர் இடத்திற்குச் செல்லுகின்றன என்பதைப் படம் 7-6 இலிருந்து அறியலாம்.

காப்புத் தத்துவங்கள்[4]

பாதுகாப்பிற்காக அணுஉலையை நிறுத்துவதில் இருவகையான அடிப்படைக் கொள்கைகள் பின்பற்றப்படுகின்றன. முதலாவதாவது, எப்பாடுபட்டாகிலும் அணுஉலையைச் சேதமடைவதிலிருந்து காப்பது.

1. reverse 2. scram 3. back up
4. safety philosophies.



படம் 7-6. அணுஉலைக் கட்டுப்பாட்டு முறை

இதற்குக் காரணங்கள் பல. சிறிய விபத்து ஏற்பட்டாலும் அது அணு மின் நிலையத்தில் ஏற்பட்டால் பொதுமக்கள் அனுவசியக் கலவரம் கொள்கின்றனர். மேலும் அணுஉலைகள் கட்டப்படத் தொடங்கிய முன் னுட்களில் ஏற்படக்கூடிய விபத்துகளின் இயல்பு தெளிவாகத் தெரிய வில்லை. ஆகவே முன்னுட்களில் எச்சிறிய கோளாறு ஏற்பட்டாலும் அணுஉலை நிறுத்தப்பட்டு அதன் பாகங்கள் சேதமடையாமலும் விபத்து ஏற்படாமலும் காப்பது வழக்கமாயிருந்தது. அதுவே இக் காலத்திலும்கூட கடைப்பிடித்து வரப்படுகிறது.

மற்றைய கொள்கை, சாதாரணமாக, பிற தொழில் முறைகளில் பயன்படுவது ஆகும். உதாரணமாக, மின் நிலையங்களில் ஏதாவது சிறிய கோளாறு ஏற்பட்டாலும் மின்சார விநியோகம் தடைப்படாமல் தொடர்ந்து நடைபெறுகிறது. கோளாறு ஏற்பட்ட சாதனம் நீக்கப் பட்டு, பதிலாக மற்ரெரு சாதனம் தொடக்கப்பட்டு, தொடர்ச்சியாக மின்சாரம் கிடைக்க ஏற்பாடுகள் செய்யப்படுகின்றன. இக்கொள்கையை ஆகாயவிமானக் கொள்கை[1] என்று கூறுகின்றனர். ஏனெனில் விமானத்தில் எவ்விதக் கோளாறு ஏற்பட்டாலும் அதன் எஞ்சினை நிறுத்த முடியாது. எஞ்சின் தொடர்ந்து வேலை செய்துகொண்டே இருக்கவேண்டும். இக்கொள்கையைப் பின்பற்றும் அணுஉலை, அதன் சாதனங்களில் பழுது ஏற்பட்டாலும், இடையருமல் தொடர்ந்து வேலை செய்ய வேண்டியது ஆகும்.

மேற்கூறிய இரு கொள்கைகளும் ஒன்றுக்கொன்று முரணுக இருந்தபொழுதிலும், அணுமின் நிலையத்தில் இரு கொள்கைகளும் கூடியவரை கடைப்பிடிக்கப்படுகின்றன. இதற்காக, அத்தியாவசிய மான சாதனங்கள் ஒவ்வொன்றிலும் குறைந்தபட்சம் இரண்டு எண்ணிக்கையாவது இருக்குமாறு செய்யப்படுகிறது. ஒன்று கோளாறு அடைந்தாலும் மற்றது உடனே வேலை செய்யத் தொடங்கும். அணு உலையை நிறுத்துவதற்கு சமிக்ஞை அளிக்கும் கருவிகள், நிறுத்தத் தேவையில்லாத சந்தர்ப்பங்களில், தவறுதலாக நிறுத்தும் சமிக்ஞை கொடுக்காமலிருக்கவும், நிறுத்த வேண்டிய சந்தர்ப்பங்களில் இந்த சமிக்ஞை கொடுக்கத் தவருமலிருக்கவும், இக்கருவிகள் ஒவ்வொன்றிலும் மூன்று மூன்று நிறுவப்படுகின்றன. இம்மூன்று கருவிகளில் ஏதாவது இரண்டோ அல்லது மூன்றுமோ, நிறுத்துவதற்கு சமிக்ஞை கொடுத்தா லன்றி அணுஉலை நிறுத்தப்படமாட்டாது. மேலும் எந்த ஒரு சாதனமோ, கருவியோ, உபகரணமோ பழுதடைந்தாலும், தவருக இயங்கினுலும் அல்லது மின்சாரம், அழுத்தக் காற்று, போன்றவற்றின் விநியோகத்தில் தடை ஏற்பட்டாலும் ஏற்படும் விளைவு அபாய மற்றதாக இருக்கும்படி திட்டமிடப்படுகின்றது.

1. aeroplane philosophy.

கம்ப்யூட்டர்களின்[1] ஒரிரு உபயோகங்கள் பற்றிக் கூருமல், கட்டுப்பாட்டு முறைகளைப் பற்றி கூறும் இந்த அத்தியாயத்தை முடிப்பது சரியாகாது. இந்தக் கம்ப்யூட்டர்கள் அணுஉலை திட்டமிடப்படும் காலத்தில் பற்பல கடினமான பிரச்சினைகளுக்கு விடையளிப்பதுடன் இவை அணுஉலைக் கட்டுப்பாட்டிற்கும் பயன்படுகின்றன. ஆபரேட்டர்கள் செய்யக்கூடியவைகளுக்கும் மேலான பல காரியங்களைச் செய்கின்றன. நூற்றுக்கணக்கான அளவிடு கருவிகளிலிருந்து வரும் தகவல்களை வாங்கிக்கொண்டு ஒரு நொடிப் பொழுதில் அடுத்துச் செய்ய வேண்டிய பற்பல காரியங்களை நிர்ணயித்து அதற்குத் தகுந்த நடவடிக்கைகளையும் எடுத்துக்கொள்கின்றன. இதனுல் கட்டுப்பாடு மிகவும் சரியாக நடப்பதுடன் மிகவும் பாதுகாப்பானதாகவும் உள்ளது. மனிதத் தவற்றினுல் ஏற்படக்கூடிய பல விபத்துக்கள் தவிர்க்கப்படுகின்றன. கம்ப்யூட்டர்களைக் கொண்டு கட்டுப்படுத்தப்படும் அணுஉலைகள் பாரதத்தில் கட்டப்படும் நாள் நெருங்கிவிட்டது.

REFERENCES

1. S. GLASSTONE AND A. SESONSKE: "*Nuclear Reactor Engineering*"—Van Nostrand and Co., Princeton, New Jersey.

2. C. F. BONILLA: "*Nuclear Engineering*"—McGraw Hill, New York.

3. M. A. SCHULTZ: "*Control of Nuclear Reactors and Power Plants*"—McGraw Hill, New York.

4. C. R. MCCULLOUGH: "*Safety Aspects of Nuclear Reactors*"—D. Van Nostrand and Co., Princeton, New Jersey.

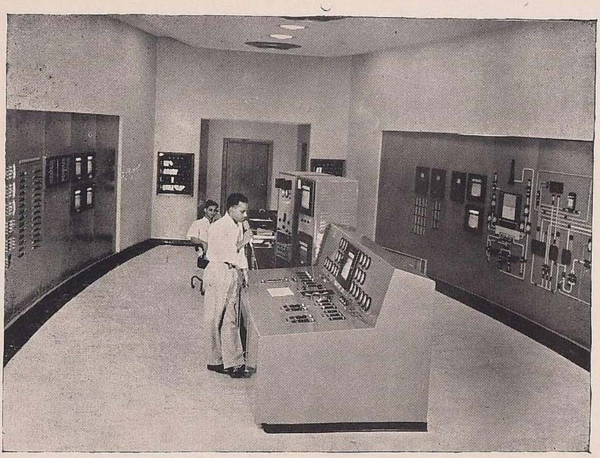
5. H. ETHERINGTON: "*Nuclear Engineering Hand Book*"—McGraw Hill, New York.

6. R. STEPHENSON: "*Introduction to Nuclear Engineering*"—McGraw Hill, New York.

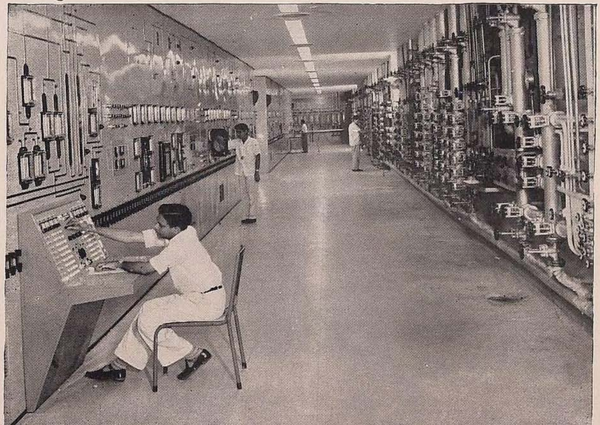
7. J. M. HARROR: "*Nuclear Reactor Control Engineering*"—Van Nostrand and Co., Princeton, New Jersey.

---

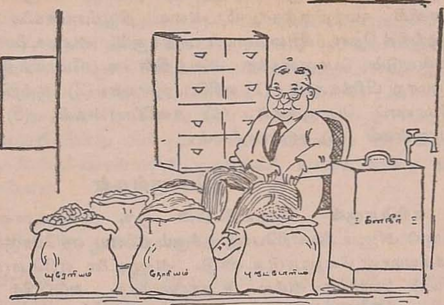
1. computers.



சைரஸ் அணுஉலையின் ஆட்சி அறை



புளுட்டோனிய உலையின் ஆட்சி அறை



8. அணுஉலை—பொருள்கள்

[வ. வெங்கட்ராஜ்]

இரண்டாம் உலகப் போர் மிக மும்முரமாக நடந்து கொண்டிருந்த 1942ஆம் ஆண்டிலே ஒரு நாள். இந்த நாள் விஞ்ஞான உலகிலே ஒரு புதிய சகாப்தத்தைத் துவக்கி வைத்தது. அன்று தான் உலகத்தில் முதல் அணுஉலை 'வரம்பு நிலை' அடைந்தது. அன்று அந்த அணு உலையை அமைத்தது, இரண்டாம் உலகப் போரில் அழிவுச் செயலுக்கு அணுசக்தியைப் பயன்படுத்தும் முயற்சிக்குத் தூண்டுகோலாய் அமைந்தாலும், அதைத் தொடர்ந்து நிறுவப்பட்ட பல அணுஉலைகள் இன்று மனிதனின் வசதியான வாழ்வுக்கு அடிகோலுவனவாக அமைந்துள்ளன. அணுவினுள் மறைந்துள்ள அளவற்ற சக்தியை மனித குலத்தின் நல்வாழ்வுக்குப் பயன்படுத்த உதவும் அணுஉலைகளை அமைக்கப் பலவகையான பொருள்கள் தேவைப்படுகின்றன. இவற்றுள் பெரும்பான்மையானவை பொதுவாகப் பொறியியல் நிர்மாணத்தில் உபயோகப்படுவனவேயாகும். எனினும் ஜிர்க்கோனியம் போன்ற சில பிரத்யேகமான பொருள்களும் அணுஉலையை உருவாக்கப் பயன்படுகின்றன.

அணுஉலையின் உள்ளகத்தே உபயோகிக்கப்படும் பொருள்களுள் எரிபொருள், கட்டுப்பாட்டுக்குப் பயன்படும் பொருள் ஆகியவை தவிர மற்றவை மிகக் குறைந்த நியூட்ரான் கிரகிக்கும் முகப்பரப்பைக் கொண்டவையாய் இருத்தல் வேண்டும். அணுஉலையில் உபயோகிக்கப்படும் பொருள்களின் மற்றொரு தனிச் சிறப்பு அவற்றின் உயர்ந்த

பட்சத் தூய்மையாகும். ஏனெனில் ஏனைய பொருள்கள் மிகச் சிறிய அளவில் கலந்திருந்தாலும் அவை நியூட்ரான்களை அனுவசியமாக விழுங்கித் தொடர்கிரியையைப் பாதிக்கும். அணுஉலையை உருவாக்கப் பயன்படும் பொருள்களை அவற்றின் உபயோகத்திற்கேற்பப் பின் வருமாறு பிரிக்கலாம். (1) எரிபொருள்கள், (2) ஆற்றிகள், (3) உறை, நிர்மாணப் பொருள்கள், (4) தணிப்பான்கள், (5) கட்டுப்பாட்டுப் பொருள்கள் (6) தடுப்பான்கள்.

எரிபொருள்கள்

எரிபொருள் அணுஉலையின் ஒரு முக்கியமான அம்சமாகும். ஆனால் அணுஉலை எரிபொருளுக்கும் ஏனைய எரிபொருள்களுக்கும் ஒரு முக்கியமான வேறுபாடு உண்டு. அணுஉலை எரிபொருள் தீப்பிடித்து எரியும் பொருள் அல்ல. உதாரணமாக, அடுப்பில் விறகு எரியும் பொழுது தீப்பிழம்பை நாம் காண்கிறோம். பின்னர் விறகு சாம்பலாகி விடுகிறது. ஆனால் அணுஉலை எரிபொருளுக்கு இது நேர்வதில்லை. இங்கு அணுப்பிளவு சக்தியே வெப்பமாக மாற்றப்படுகிறது. பிளவுபடக் கூடிய அணுக்கருக்களையுடைய பொருள்களையே அணுஉலையில் எரி பொருளாக உபயோகிக்க முடியும். இப்பொருள்கள் பின்வரும் குணங்களை உடையனவாய் இருத்தல் வேண்டும்.

(1) எளிதில் வெப்பம் கடத்தும் தன்மை ;
(2) கதிர்வீச்சைத் தாங்கும் ஆற்றல் ;
(3) ரசாயன மாற்றம் ஏற்படாதிருத்தல் ;
(4) வேண்டிய வடிவங்களுக்கு எளிதில் உருவாக்கப்படக் கூடிய தன்மை.

ஆனால் மேற்கூறிய குணங்கள் அனைத்தும் ஒருங்கே அமையப் பெற்ற பொருள்கள் அரிதானவையாகும். உதாரணமாக, யுரேனிய உலோகம் எளிதில் வெப்பம் கடத்தும் ஆற்றல் வாய்ந்தது. ஆனால் கதிர்வீச்சைத் தாங்கும் ஆற்றல் அதிகம் கொண்டது அல்ல. யுரேனிய ஆக்ஸைடு யுரேனியத்தைவிடக் கதிர்வீச்சைத் தாங்கும் ஆற்றல் அதிகம் வாய்ந்தது. ஆனால் யுரேனிய ஆக்ஸைடின் வெப்பம் கடத்தும் திறன் குறைந்ததாகும்.

அணுஉலையில் எரிபொருளாகப் பயன்படுபவை பிளவுபடக்கூடிய ஐஸோடோப்புகளாகிய யுரேனியம்–233, யுரேனியம்–235, புளுட்டோனியம்–239 முதலியவையாகும். இம்மூன்று ஐஸோடோப்புகளுக்கும் தோரியமும், யுரேனியமும் மூலப்பொருள்களாகும்.

இயற்கை யுரேனியத்தில்[1] 141இல் ஒரு பங்கு (0·7%) யுரேனியம் 235 ஐஸோடோப்பு ஆகும். மிகுதி எளிதில் பிளவுபடாத யுரேனியம்–

---

1. natural uranium.

238 ஐஸோடோப்பு ஆகும். ஆனால் யுரேனியம்–238ஐ தக்க கருக் கிரியைகளால், பிளவுபடக்கூடிய புளூட்டோனியம்–239 ஆக மாற்றலாம். தோரியத்திலோ, எளிதில் பிளவுபடக்கூடிய ஐஸோடோப்புகளே இல்லை. இதனையும் ஈனுலைகளிலும், ஏனைய அணுஉலைகளிலும் உப யோகித்து பிளவுபடக்கூடிய யுரேனியம்–233ஐப் பெறலாம். இனி யுரேனியம், தோரியம் ஆகிய உலோகங்களின் தாதுப்பொருள்கள் யாவை, அவற்றினின்று இவ்வுலோகங்கள் எவ்வாறு பிரித்தெடுக்கப் படுகின்றன, இவ்வுலோகங்களின் குணங்கள் யாவை என்ற விவரங் களைக் காண்போம்.

யுரேனியத்தின் தாதுப்பொருள்கள்

பெரும்பாலோர் நினைப்பதுபோல் யுரேனியம் அரிதான பொருள் அன்று. நாமனைவரும் நன்கறிந்த வெள்ளி, பாதரசம் போன்ற உலோகங்களைவிட மிகுதியாகக் கிடைக்கக்கூடியது. இவ் வுலகப் பரப்பில் பன்னிரண்டு மைல் ஆழத்திற்குள் கிடைக்கக்கூடிய யுரேனியத்தின் அளவு சுமார் கோடி கோடி (10^{14}) டன்கள் என்று கணக் கிடப்பட்டுள்ளது. ஆனால் இவ்வாறு கிடைக்கும் யுரேனிய தாதுக் களில் பெரும்பாலானவை மிகக் குறைந்த அளவே யுரேனியம் கொண்டவை. ஆகையால் இத்தாதுக்களிலிருந்து சிக்கனமான செல வில் யுரேனியத்தைப் பிரித்தெடுப்பது இயலாத காரியமாகும். கடல் நீரிலும் சுமார் ஒரு கோடியில் பத்து பங்கு யுரேனியம் உள்ளது.

யுரேனிய வளம்மிக்க தாதுக்கள் காங்கோவிலும், கனடாவிலும் காணப்படுகின்றன. பிட்ச் பிளெண்ட்[1], யுரானைட்[2] போன்ற தாதுக் களிலிருந்து 1 முதல் 4 சதவிகிதம்வரை யுரேனியம் கிடைக்கும். நமது நாட்டில் பீகார் மாநிலத்திலுள்ள ஜாதுகுடா[3]விலும், மற்றும் பல இடங் களிலும் யுரேனிய தாதுக்கள் காணப்படுகின்றன. இந்த தாதுக்கள் 0·07% U_3O_8* கொண்டவையாகும். அதாவது பத்தாயிரம் கிலோகிராம் தாதுப் பொருளிலிருந்து சுமார் ஏழு கிலோகிராம் U_3O_8 கிடைக்கும். பீகார் மாநிலத்திலுள்ள யுரேனிய தாதுக்களிலிருந்து சுமார் 15000 டன்† யுரேனியம் கிடைக்கும் என்று கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. இதைத் தவிர கேரளத்திலும், தமிழ் நாட்டிலுள்ள கன்னியாகுமாரி மாவட்டத்திலும் உள்ள மானேஸைட்[4] மணலிலிருந்தும் சுமார் 15,000 டன் யுரேனியம் கிடைக்குமென்று எதிர்பார்க்கப்படுகிறது.

---

* uranium sesquioxide – யுரேனிய ஸெஸ்க்வி ஆக்ஸைடு. மூன்று யுரேனிய அணுக்களும், எட்டு ஆக்ஸிஜன் அணுக்களும் ஒன்று சேர்ந்து உண்டா கும் கூட்டுப்பொருள்.

† இங்கு ஒரு டன் = ஆயிரம் கிலோகிராம்கள்

1. pitchblende 2. uranite 3. Jaduguda 4. monazite.

தாதுக்களிலிருந்து யுரேனிய-டை-ஆக்ஸைடு[1] எவ்வாறு பிரித்தெடுக்கப்படுகிறது என்பதைச் செய்முறை விளக்கப்படம்[2] (படம் 8-1) விளக்குகிறது.

யுரேனியத் தாதுக்கள்   ↓   தூளாக்கி, கழுவி, வடிகட்டிய பின், நீர்த்த கந்தக அமிலத்தில் கரைத்து வடிகட்டல்   ↓   அயனிப் பரிமாற்றப் பிசின்கள்[9] கொண்ட குழாய்களின் வழியே செலுத்திக் கிரியை செய்து, பின் இக்குழாய்களில் தேவையான அளவு மெக்னீசியா[10] செலுத்தி மெக்னீசியம் டை-யுரானேட்[11] வீழ்படிவைப்[12] பெறல்   ↓   வீழ்படிவை நைட்ரிக் அமிலத்தில் கரைத்து யுரானில்-நைட்ரேட்டாக[13] மாற்றல்   ↓   ட்ரைப்யூட்டைல் ஃபாஸ்பேட்[14] பாயும் குழாய்க்குள் செலுத்திச் சுத்திகரித்தல்   ↓   சுத்திகரிக்கப்பட்ட யுரானில் நைட்ரேட் கரைசலில் அம்மோனியாத் திரவத்தைக் கலந்து அம்மோனியம் டை-யுரானேட்[15] வீழ்படிவைப் பெறல்   ↓   வீழ்படிவை நீற்றி[16], யுரேனியம் ட்ரையாக்ஸைடு[17] தயாரித்தல்   ↓   ஹைடிரஜன் வாயுவுடன் கிரியை நடத்தி யுரேனியம் டை-ஆக்ஸைடு[18] பெறல்

படம் 8-1. யுரேனிய-டை-ஆக்ஸைடைப் பிரித்தெடுத்தல் (செய்முறை விளக்கப் படம்)

இவ்வாறு கிடைக்கும் யுரேனிய-டை-ஆக்ஸைடைச் சூடாக்கி அதன் மீது நீரற்ற[3] ஹைடிரஜன் ஃபுளோரைடு[4] வாயுவைச் செலுத்தினால் யுரேனியம் டெட்ரா ஃபுளோரைடு[5] கிடைக்கும் இது ஓர் பச்சைநிற உப்பாகும். இதனை மாவாக்கி, சுத்தமான கால்சியத்தோடு கலந்து கால்சியம் ஃபுளோரைடு[6] பூச்சுக்[7] கொண்ட எஃகுக் கலனில் வைத்து, மின்பொறியினால்[8] ரசாயனக் கிரியை ஆரம்பிக்கப்படுகிறது.

---

1. uranium-di-oxide (UO_2) 2. flow-sheet 3. anhydrous 4. hydrogen fluoride 5. uranium-tetra-fluoride 6. calcium fluoride 7. coating 8. electric spark 9. ion exchange resins 10. magnesia 11. magnesium diuranate 12. precipitate 13. uranyl nitrate 14. tri-butyl-phosphate 15. ammonium diuranate 16. calcine 17. uranium trioxide (UO_3). 18. uranium dioxide (UO_2).

இக்கிரியையில் விளையும் சூட்டினுல் யுரேனிய உலோகமும் கால்சியமும் ஃபுளோரைடு கசடு[1] உருகிய நிலையில் கிடைக்கும். இதனின்று கசடை நீக்கி, பின் உலோகத்தை கிராஃபைட்டுச் சிமிழ்[2]களில் உருக்கி வார்த்தால் யுரேனியக்கட்டிகள்[3] கிடைக்கும்.

யுரேனியத்திற்குச் செழிப்பூட்டல்

மேற்கூறியவாறு கிடைக்கும் யுரேனியத்திற்கு இயற்கை யுரேனியம் என்று பெயர். இந்த உலோகத்தையோ அதன் ஆக்ஸைடையோ அணுஉலையில் எரிபொருளாக உபயோகிக்கலாம். இயற்கை யுரேனியத்தில் 141-ல் ஒரு பங்காக யுரேனியம்–235 உள்ளது என்பது முன்பே கூறப்பட்டுள்ளது. இதைவிட அதிகமான விகிதத்தில் யுரேனியம்–235ஐக் கொண்ட உலோகத்தையே செழிப்பூட்டப்பட்ட[4] யுரேனியம் என்று அழைக்கிருேம். இதனை அணுஉலை எரிபொருளாக உபயோகிக்கலாம். மிகமிக அதிகமாகச் செழிப்பூட்டப்பட்ட யுரேனியத்தை அணுகுண்டு செய்யவும் பயன்படுத்தலாம்.

யுரேனியத்திற்குச் செழிப்பூட்டப்பயன்படும் முறைகளாவன

(1) வாயு நிலையில் பரவுதல்[5],

(2) சுழல்-விலகு விசையால் பகுத்தல்[6],

(3) காந்தப் பகுப்பு முறை[7].

இவற்றுள் வாயு நிலையில் பரவுதல் என்ற முறையே இயற்கை யுரேனியத்திற்குச் செழிப்பூட்டப் பெரும்பாலும் உபயோகிக்கப்படும் முறையாகும். இம்முறையில் ஃபுளோரினை[8] உபயோகித்து, யுரேனிய-டெட்ரா-ஃபுளோரைடானது[9], யுரேனிய ஹெக்ஸா-ஃபுளோரைடு[10] வாயுவாக மாற்றப்படுகிறது. பின்னர் இந்த வாயு மிக நுண்ணிய துவாரங்கள் உள்ள வடிகட்டிகளின் வழியாக வேகமாகச் செலுத்தப்படுகிறது. யுரேனியம்–235 அணுவானது யுரேனியம்–238 அணுவைவிடச் சிறிது லேசானதால் அதன் வேகம் சிறிதளவு அதிகமாக இருக்கும். ஆகையால் வடிகட்டியினின்று வெளியேறும் வாயுவில் முன்பிருந்ததைவிட யுரேனியம்–235 அணுக்களின் விகிதம் சிறிதளவு அதிகமாகும். இயற்கை யுரேனியத்தில் யுரேனியம்–235 குறைவாக இருப்பதாலும், இரண்டு ஐஸோடோப்புகளுக்குமுள்ள திணிவு வித்தியாசமும், எனவே வேக வித்தியாசமும் மிகக் குறைவாக இருப்பதாலும் யுரேனியம்–235 ஐஸோடோப்பைத் தனியாகப் பிரித்தெடுக்க ஹெக்ஸா ஃபுளோரைடு வாயுவை ஆயிரக்கணக்கான வடிகட்டிகளினூடே செலுத்த வேண்டியது அவசியமாகிறது. இதற்குத் தேவைப்படும் மின்திறனும், ஆகும் செலவும் மிக மிக அதிகமாகும்.

---

1. fluoride slag 2. crucible 3. uranium ingots 4. enriched 5. gaseous diffusion 6. centrifugal process 7. magnetic separation 8. fluorine 9. uranium-tetra-fluoride (UF_4) 10. uranium-hexa-fluoride (UF_6).

தோரிய தாதுப் பொருள்கள்

அணுவின் சக்தியைப்பற்றி விஞ்ஞானிகள் அறிவதற்குப் பல ஆண்டுகளுக்கு முன்பிருந்தே தோரியம், மக்களின் வாழ்க்கையில் பயன்பட்டு வந்திருக்கிறது. பெட்ரோமாக்ஸ் விளக்கில் உள்ள மான்டில்[1] செய்வதற்குத் தோரிய நைட்ரேட் பயன்படுகிறது.

மாஞேஸைட் மணல்

↓

பொடிதீது, கழுவி வடிகட்டியபின் எரிசோடாவைச் சேர்த்து, தோரியம், யுரேனியம், அருமண் உலோகங்கள் ஆகியவற்றின் ஹைடிராக்ஸைடையும், ட்ரைஸோடியம்-பாஸ்ஃபேட்டையும் பெறல்

→ [நீக்கப்பட்ட ட்ரைஸோடியம் பாஸ்ஃபேட்டு]

↓

ஹைடிராக்ஸைடுகளைப் பிரித்துச் சுத்தப்படுத்தியபின் அருமண் உலோகங்களை மட்டும் கரைக்கக்கூடிய அளவு ஹைடிரோகுளோரிக் அமிலத்தைக் கலந்து வடிகட்டல்

→ கரைசலில் அருமண் உலோகங்கள்

↓

வண்டலில் தோரியமும், யுரேனியமும். வண்டலை ஹைடிரோ-குளோரிக் அமிலத்தில் கரைத்துப் பின்பு தோரியத்தை மட்டும் பிரித்தெடுக்கத் தேவையான கந்தக அமிலம் சேர்த்தல்

→ யுரேனியமும், சிறிது தோரியமும்

↓

தோரிய ஸல்ஃபேட் வீழ்படிவு. இந்த வீழ்படிவோடு காரத்தைக் கலந்து தோரிய ஹைடிராக்ஸைடைப் பெறல்

↓

நைட்ரிக் அமிலம் கலந்து நைட்ரேட்டாக மாற்றல்

↓

ட்ரைப்யூட்டைல் பாஸ்ஃபேட்டினுல் சுத்திகரித்தல்

↓

ஆக்ஸாலிக் அமிலத்தைச் சேர்த்து, தோரிய ஆக்ஸலேட் வீழ்படிவைப் பெறல்

↓

நீற்றி, தோரிய-டை-ஆக்ஸைடு தயாரித்தல்

↓

ஹைடிரஜன் ஃபுளோரைடு வாயுவோடு கிரியை செய்து தோரியம்-டெட்ரா-ஃபுளோரைடைப் பெறல்

↓

கால்சியம் அல்லது மக்னீசியம் சேர்த்து, துத்தநாகக் குளோரைடுடன் சூடாக்கித் தோரிய உலோகத்தைப் பெறல்

படம் 8-2. தோரியத்தைப் பிரித்தெடுத்தல்
(செய்முறை விளக்கப் படம்)

1. mantle.

பூமியின்கண், யுரேனியத்தைப்போல் மூன்று மடங்கு தோரியம் உள்ளது என்று கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. மானேஸைட் மணலிலிருந்தே பெரும்பாலான தோரியம் கிடைக்கிறது. நமது நாட்டில், கேரளத்துக் கடற்கரையிலும், சென்னை மாநிலத்திலுள்ள கன்னியாகுமரி மாவட்டத்திலும் மிக அதிக அளவில் மானேஸைட் உள்ளது. இதன் அளவு சுமார் 50 லட்சம் டன் என்று கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. மானேஸைட், 8 முதல் 10 சதவிகிதம் தோரிய-டை-ஆக்ஸைடும், 0·3 சதவிகிதம் U_3O_8-ம், சுமார் 60 சதவிகிதம் **அருமண் உலோகங்களின்**[1] ஆக்ஸைடுகளும் கொண்டதாகும். ஆகையால் கேரளத்திலும், தமிழ் நாட்டிலும் உள்ள மானேஸைட் மணல்களிலிருந்து சுமார் ஐந்து லட்சம் டன் தோரிய-டை-ஆக்ஸைடும்[2], பதினைந்தாயிரம் டன் U_3O_8-ம் கிடைக்குமென்று எதிர்பார்க்கப்படுகிறது. இதைத் தவிர பீகார் மாநிலத்திலுள்ள ராஞ்சி[3]யிலும் மிக அதிக அளவில் தோரிய தாதுக்கள் உள்ளன என்று அண்மையில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. மானேஸைட் மணலிலிருந்து எவ்வாறு தோரிய உலோகம் பிரித்தெடுக்கப்படுகின்றது என்பதைச் செய்முறை விளக்கப் படம் (படம் 8-2) விளக்குகிறது.

புளூட்டோனியம்[4]

இயற்கையில் குறிப்பிடத்தக்க அளவு புளூட்டோனியம் கிடைப்பதில்லை. மனிதன் தனக்குத் தேவையான புளூட்டோனியத்தைச் செயற்கை முறையிலேயே பெறுகிறான். அணுஉலை எரிபொருளில் உள்ள யுரேனியம்–238 ஐஸோடோப்பு நியூட்ரானால் தாக்கப்பட்டால் கருக்கிரியை நிகழ்ச்சிகளுக்குப் பிறகு புளூட்டோனியம் உண்டாகும்.* பின்னர் ரசாயனக் கிரியைகளால் இவ்வெரிபொருளிலிருந்து புளூட்டோனியம் பிரித்தெடுக்கப்படுகிறது.

யுரேனியத்தின் குணங்கள்

யுரேனியம் அடர்த்தி மிகுந்த கடினமான உலோகமாகும். வெள்ளை அல்லது சாம்பல் வெள்ளை[5] நிறமுடைய இவ்வுலோகம் புதிதாகத் தயாரிக்கப்பட்டவுடன் பளபளப்பு உடையதாக இருக்கும்.

யுரேனியம் வெகு எளிதில் ஆக்ஸிஜனோடு ரசாயனக்கிரியை புரிய வல்லது. ஆகையால் யுரேனியத்தூள் வெகு எளிதில் தீப்பிடிக்கும் தன்மையது. இக்காரணத்தால் யுரேனியத்தை உயர்ந்த உஷ்ண நிலையில் பதப்படுத்தும்போது வெற்றிடச்[6] சூழ்நிலையையோ மந்தச் சூழ்நிலையையோ[7] (ஆர்கான்) உண்டாக்குவது அவசியமாகிறது.

---

*புளூட்டோனியம் உண்டாகும் முறையை **அணு** என்னும் அத்தியாயத்தில் காண்க.

1. rare earth elements 2. thorium-di-oxide (ThO_2) 3. Ranchi 4. plutonium 5. greyish white 6. vacuum 7. inert 8. atmosphere.

யுரேனிய உலோகத்தைச் சூடாக்கினால் அது தன் உருகுநிலையை[1] அடையுமுன், வெவ்வேறு உஷ்ண நிலைகளில் ஆல்ஃபா[2], பீட்டா[3], காமா[4] என மூன்று விதப் புறவேற்றுமை நிலைகளை[5] அடைகிறது. இம்மூன்று நிலைகளிலும் யுரேனியத்தின் படிக அமைப்பு[6] வேறுபடுகிறது. யுரேனியம், ஆல்ஃபா நிலையிலிருந்து பீட்டா நிலையை அடையும்போது அதன் கன அளவில் பெருக்கம் ஏற்படுகிறது. இதனால் பல இன்னல்கள் நேரும். ஆகையால் ஆல்ஃபா யுரேனியம் பீட்டா யுரேனியமாக மாறும் உஷ்ணநிலையை (அதாவது சுமார் 1220°F) விடக்குறைந்த உஷ்ணநிலையில் செயல்படும் அணுஉலைகளில் மட்டும் தான் யுரேனியத்தை உலோகவடிவில் எரிபொருளாக உபயோகிக்க முடியும். யுரேனியம் வெகு எளிதில் காற்று, நீர், ஹைடிரஜன் ஆகியவற்றால் தாக்கப்பட்டு ரசாயனமாற்றம் அடையக்கூடியது. யுரேனியத்தின் மற்றொரு குறைபாடு, கதிர்வீச்சுத் தாக்குதலினால்[7] அதன் பரிமாணத்திலும் மற்றும் பல பண்புகளிலும் மாற்றங்கள் ஏற்படுவதாகும். யுரேனியத்தை, குரோமியம்[8], நையோபியம்[9], ஜிர்க்கோனியம்[10] போன்ற உலோகங்களோடு கலவை செய்து மேற்கூறிய குறைபாடுகளில் சிலவற்றை நிவர்த்திக்கலாம்.

யுரேனிய ஆக்ஸைடும், யுரேனியக் கார்பைடும்

இவை ஸெரமிக்குகளாகும்[11]. ஸெரமிக்குகள் எனப்படுபவை உயர்ந்த உஷ்ணநிலைச் செய்முறைகளினால்[12] உண்டாக்கப்படும் பொருள்கள். இவை மிக உயர்ந்த உஷ்ணநிலையைத் தாங்கும் ஆற்றல் பெற்றவையாதலால், உயர்ந்த உஷ்ணநிலையில் செயல்படும் அணுஉலைகளின் உபயோகத்திற்குத் தகுந்தவையாகும். யுரேனிய ஆக்ஸைடு,[13] யுரேனியக் கார்பைடு[14] போன்ற ஸெரமிக்குகள் அணுஉலை எரிபொருள்களாகப் பயன்படுகின்றன. இவை உயர்ந்த அளவு கதிர்வீச்சைத் தாங்கும் ஆற்றல் பெற்றவை. ஆனால் யுரேனிய ஆக்ஸைடின் வெப்பம் கடத்தும் திறன்[15] குறைவு. உயர்ந்த உஷ்ணநிலையிலும் யுரேனிய ஆக்ஸைடு நீரால் பாதிக்கப்படுவதில்லை. ஆகையால் இது நீர் அல்லது கனநீரை ஆற்றியாகப் பயன்படுத்தும் அணுஉலைகளில் எரிபொருளாகப் பயன்படுவதற்குத் தகுந்த பொருளாகும். ராஜஸ்தானில் நிர்மாணிக்கப்பட்டுவரும் அணுஉலையில் யுரேனிய ஆக்ஸைடே எரிபொருளாக உபயோகிக்கப்படும். யுரேனியக் கார்பைடு யுரேனிய ஆக்ஸைடைவிட வெப்பம் கடத்தும் திறன் அதிகம் கொண்டது.

---

1. melting point 2. alpha (α) 3. beta (β) 4. gamma (γ) 5. allotropic forms 6. crystal structure 7. irradiation 8. chromium 9. niobium 10. zirconium 11. ceramics 12. process 13. uranium oxide 14. uranium carbide 15. thermal conductivity.

ஆனால் இது நீரால் வெகு எளிதில் பாதிக்கப்படும். ஆகையால் கரிமப் பொருள்களையோ, திரவ உலோகங்களையோ* ஆற்றிகளாகக் கொண்ட அணுஉலைகளில் மட்டும் யுரேனியக் கார்பைடு எரிபொருளாக உபயோகிக்கப்படுகின்றது.

தோரியத்தின் குணங்கள்

தோரியம் யுரேனியத்தைவிட அடர்த்தி குறைந்தது; மென்மையானது. தோரியத்தின் தூள் வெகு எளிதில் தீப்பிடிக்கும் தன்மையுடையது. ஆகையால் தோரிய வார்ப்புகள் எந்திரங்களில் இழைக்கப்படும்[1]போது துருவல்கள் தீப்பிடிப்பதைத் தவிர்க்க முன்னெச்சரிக்கையுடன் இருக்கவேண்டும்.

புளூட்டோனியத்தின் குணங்கள்

புளூட்டோனியம் அணு ஆயுதங்களில் பயன்படக்கூடிய பொருளாதலால் அதைப்பற்றிய தகவல்கள் பெரும்பாலும் ரகசியமாகவே வைக்கப்பட்டுள்ளன. யுரேனியத்தைப்போலவே புளூட்டோனியமும் அடர்த்தி மிகுந்த பொருளாகும். இவ்வுலோகத்தைச் சூடாக்கினால் உருகுநிலையை அடையுமுன், ஆறுவிதப் புறவேற்றுமை நிலைகளை அடைகின்றது. புளூட்டோனியம் மிகவும் அதிகமான நச்சுத் தன்மையுடையது. எனவே, புளூட்டோனியத்தைக் கையாள்வதற்கு, தகுந்த பாதுகாப்புடன் கூடிய தொலைக்கையாட்சிச் சாதனங்களையும் முறைகளையும் பயன்படுத்துவது அவசியமாகிறது.

ஆற்றிகள்

அணுஉலையின் உள்ளகத்தே அணுப்பிளவுகளிலிருந்து தோன்றும் வெப்பத்தைக் கிரகிப்பதே ஆற்றியின் செயலாகும். இவ்வாறு ஆற்றியால் கிரகிக்கப்படும் வெப்ப சக்தியே அணுமின்நிலையங்களில் மின் சக்தியாக மாற்றப்படுகிறது. ஒரு பொருள் அணுஉலையில் ஆற்றியாகச் சிறந்த முறையில் பயன்பட வேண்டுமாயின், அது கீழே கூறப்பட்டுள்ள குணங்களைக் கொண்டிருத்தல் வேண்டும்.

(1) உயர்ந்த வெப்பம் கடத்தும் திறனும், உயர்ந்த வெப்ப எண்ணும்[2] கொண்டிருக்க வேண்டும்.

(2) ஆற்றியைப் பாயச்செய்யும் பம்ப்பு[3] இயங்கத் தேவைப்படும் திறன் குறைந்த அளவுள்ளதாக இருக்கவேண்டும்.

---

* liquid metals—அணுஉலையில் ஆற்றிகளாகப் பயன்படும் ஸோடிய உலோகம், 'NaK' என்ற ஸோடிய-பொட்டாசிய உலோகக் கலவை போன்ற பொருள்களை 'திரவ உலோகங்கள்' என்று குறிப்பிடுவது வழக்கம்.

1. machining.
2. specific heat
3. pump.

(3) உயர்ந்த கொதி நிலையும், குறைந்த உருகு நிலையும் கொண்டிருக்க வேண்டும்.

(4) உயர்ந்த உஷ்ண நிலையாலும், கதிர்வீச்சாலும் பாதிக்கப்படாதிருத்தல் வேண்டும்.

(5) நியூட்ரானைக் கிரகிக்காத தன்மையுடையதாக இருக்கவேண்டும்.

(6) விலை குறைந்ததாயும், அபாயமற்றதாயும் இருக்கவேண்டும்.

அணு உலைகளில் ஆற்றிகளாகப் பயன்படும் பொருள்களை வாயுப் பொருள்கள், திரவப் பொருள்கள் என இரண்டு வகைகளாகப் பிரிக்கலாம். இவற்றின் பாகுபாட்டைக் கீழே காண்க.

அணு உலை ஆற்றிகள்

வாயுக்கள்	திரவங்கள்
1. காற்று	1. நீர்
2. ஹைடிரஜன்	2. கன நீர்
3. ஹீலியம்	3. திரவ உலோகங்கள்
4. கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு	4. கரிமத் திரவங்கள்
	5. உருக்கிய உப்புக்கள்

வாயுநிலை ஆற்றிகள்

வாயுக்கள் பொதுவாக உயர்ந்த உஷ்ணநிலையாலும் கதிர்வீச்சாலும் பாதிக்கப்படுவதில்லை. இவற்றைக் கையாள்வது எளிது. ஆனால் இவற்றை ஆற்றி சுற்றோட்டப் பாதை[1]யில் பாய்ச்ச அதிகத் திறன் தேவைப்படுகிறது.

காற்று: வாயுப் பொருள்களுள் காற்று மிக எளிதில் கிடைக்கக்கூடியது. எங்கும் நிறைந்துள்ளது. ஆனால் இதன் 'வெப்பப் பெயர்ச்சிப் பண்புகள்'[2] அத்துணை சிறப்பானவையல்ல. மேலும் காற்றைப் பம்ப்பு செய்ய அதிகத் திறன் தேவைப்படுகிறது. மற்றும், உயர்ந்த உஷ்ண நிலைகளில், காற்றில் உள்ள ஆக்ஸிஜன் பெரும்பாலான பொருள்களை ஆக்ஸிகரணம் செய்து அவற்றைப் பாதிக்கும். தவிரவும், காற்றில் உள்ள ஆர்கான், நைட்ரஜன் முதலிய பொருள்கள் அணு உலையில் தூண்டற்கதிரியக்கம்*[3] பெற்றுவிடும். ஆகையால், குறைந்த திறனளவில் செயல்படும் அணுஉலைகளிலேயே காற்று ஆற்றியாகப் பயன்படுகிறது. இவை பெரும்பாலும் ஆராய்ச்சிக்காகப் பயன்படும் சிறிய அணு உலைகளாகும்.

---

* கதிர்வீச்சுச் சூழலில் உள்ள பொருள்களில் கதிர்வீச்சுத் தாக்குதல் காரணமாக ஏற்படும் கதிரியக்கம் 'தூண்டற்கதிரியக்கம்' எனப்படும்.

1. coolant circuit 2. heat transfer properties 3. induced radioactivity.

ஹைடிரஜன்: ஹைடிரஜன் சிறந்த வெப்பப் பெயர்ச்சிப் பண்புகள் கொண்டது. இதனைப் பம்ப்பு செய்ய அதிகத் திறன் தேவையில்லை. ஆனால் இது ஆக்ஸிஜனோடு கலந்து எளிதில் வெடிக்கக்கூடிய தன்மையுடையது. ஆகவே விபத்துக்கள் நேரலாம். சாதாரண எஃகு வகைகள் ஹைடிரஜனால் பாதிக்கப்பட்டு எளிதில் நொறுங்கும் தன்மையை அடைகின்றன. ஆகவே ஹைடிரஜனை ஆற்றியாகப் பயன்படுத்தினால், ஹைடிரஜனால் பாதிக்கப்படாத தனிப்பட்ட 'எஃகு வகைகளை அணு உலை நிர்மாணத்திற்குப் பயன்படுத்த வேண்டியது அவசியமாகிறது. இத்தகைய எஃகு வகைகள் விலை உயர்ந்தவை.

ஹீலியம்: அணுஉலையில் ஆற்றியாகப் பயன்படுவதற்கு ஹீலியம் தகுதி மிக்க வாயுப் பொருளாகும். இது சிறந்த வெப்பப் பெயர்ச்சிப் பண்புகள் கொண்டது. மேலும் இது ஒரு மந்த வாயுவாதலால் ஏனைய பொருள்களைப் பாதிப்பதில்லை. இதன் நியூட்ரான் கிரகிக்கும் முகப் பரப்பும் மிகக் குறைவே. ஆனால் இது விலையுயர்ந்த பொருளாகும். மேலும் ஹீலியத்தைப் பம்ப்பு செய்யத் தேவைப்படும் திறனைக் குறைக்க, அதை அதிக அழுத்தமுள்ள சுற்றோட்டப்பாதைகளில் உபயோகிப்பது அவசியமாகிறது.

கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு: இங்கிலாந்திலுள்ள அணுமின்உலைகளில்[1] பெரும்பான்மையானவற்றில் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு வாயுவே ஆற்றியாகப் பயன்படுகிறது. இதன் வெப்பப் பெயர்ச்சிப் பண்புகள் அவ்வளவு சிறந்தவையல்ல. மேலும் இதனைப் பம்ப்பு செய்யவும் அதிகத்திறன் தேவைப்படுகிறது. ஆனால் இது எளிதில், மிகக் குறைந்த விலையில் கிடைக்கக்கூடிய பொருளாகும். இதன் நியூட்ரான் கிரகிக்கும் முகப்பரப்பும் குறைவே.

திரவநிலை ஆற்றிகள்

திரவங்கள் வாயுக்களைவிடச் சிறந்த வெப்பப் பெயர்ச்சிப் பண்புகள் கொண்டவை. மேலும் இவற்றைப் பம்ப்பு செய்யத் தேவைப்படும் திறனும் மிகக்குறைவே.

நீர்: திரவங்களுள் நீர் மிக மலிவானது. எளிதில் கிடைக்கக் கூடியது. உயர்ந்த வெப்ப எண் கொண்டது. சுமாரான வெப்பப் பெயர்ச்சிப் பண்புகள் கொண்டது. நீரைப் பம்ப்பு செய்து பாய்ச்சத் தேவைப்படும் பம்ப்புத் திறனும் குறைவு. தவிர இது ஆற்றியாகச் செயல்படுவதோடல்லாமல் தணிப்பானாகவும் செயல்படுகிறது. ஆனால் நீர், அதிகமாக நியூட்ரான்களை கிரகிக்கும் தன்மையுடையது. ஏனைய பொருள்களை அரிக்கும் தன்மையுடையது. நீர், 'வாயு மண்டல அழுத்த நிலையில்'[2], குறைந்த உஷ்ண நிலையிலேயே (100°C) கொதிக்கும்

1. power reactors 2. atmospheric pressure.

தன்மையையுடையது. ஆனால் பெரும்பான்மையான அணுஉலைகள் இதைவிட மிக அதிகமான உஷ்ணநிலையில் செயல்படுகின்றன. ஆகையால், நீர் கொதிநிலையை அடையாமலிருக்கும் பொருட்டு நீரின் அழுத்தத்தை அதிகப்படுத்துவது அவசியமாகிறது. இவ்வாறு செயல் படும் அணுஉலை 'அழுத்த நீர் அணுஉலை' என்று முன்பே கூறப் பட்டது. கொதிநீர் அணுஉலைகளிலும், உயர்ந்த உஷ்ண நிலையிலுள்ள நீராவியைப் பெறும் பொருட்டு, பிரதம ஆற்றியாகிய நீரின் அழுத்தத்தை அதிகரிக்க வேண்டியிருக்கிறது.

கனநீர்: கனநீரும் பெரும்பாலும் நீரையொத்த பண்புகளையுடை யது. ஆனால் கனநீரின் நியூட்ரான் கிரகிக்கும் முகப்பரப்பு மிக மிகக் குறைவு. ஆகையால் கனநீரை ஆற்றியாகவும், தணிப்பானாகவும் உபயோகிக்கும் அணுஉலையில் இயற்கை யுரேனியத்தையே எரிபொரு ளாகப் பயன்படுத்தலாம். ராஜஸ்தான் மாநிலத்தில் நிர்மாணிக்கப்பட்டு வரும் அணுஉலை இத்தகையதேயாகும். ஆனால் கனநீரின் விலை மிகவும் அதிகம்.

திரவ உலோகங்கள்: வேக நியூட்ரான் அணுஉலைகளில் நியூட் ரான் பாய்திரள்[1] மிகவும் அதிகம். ஆகவே 'வெப்பப் பாய்திரளும்'[2] மிகவும் அதிகம். இவை பொதுவாக உயர்ந்த உஷ்ணநிலையில் செயல் படுகின்றன. இத்தகைய அணுஉலைகளில் திரவ உலோகங்கள் ஆற்றி களாகப் பயன்படுகின்றன. இவை சிறந்த வெப்பப் பெயர்ச்சிப் பண்பு கள் கொண்டவை. உயர்ந்த வெப்ப எண்ணும், வெப்பம் கடத்தும் திறனும் கொண்டவை. உயர்ந்த உஷ்ண நிலையிலும் பாதிக்கப்படா தவை. கதிர்வீச்சைத் தாங்கும் ஆற்றலும் பெற்றவை. ஆனால் இவற்றைக் கையாள்வது எளிதல்ல. மேலும், இவை பொருள்களை எளிதில் அரிக் கும் தன்மையுடையவை. திரவ உலோகங்களுள் ஸோடியமும், ஸோடிய பொட்டாசியக் கலவையுமே[3] அணுஉலைகளில் அதிகமாகப் பயன்படுத் தப்பட்டுள்ளன. ஸோடியம் நீரோடு சேருமாயின், ரசாயனக் கிரியை காரணமாக தீப்பிடித்து வெடிக்கும் தன்மையுடையது. ஆகவே ஸோடி யத்தை உபயோகிக்கும்போது மிகுந்த எச்சரிக்கையுடனிருத்தல் அவசி யம். தவிர, ஸோடியமானது நியூட்ரானால் தாக்கப்பட்டால், கதிர்வீசும் ஸோடியம்–24 உண்டாகிறது. ஸோடியத்தின் உருகுநிலை 98°C. இதற் குக் குறைந்த உஷ்ணநிலையில் ஸோடியம் உறைந்து, ஆற்றி சுற்றோட் டப் பாதையை அடைத்துவிடும். ஆனால் ஸோடிய பொட்டாசியக் கலவை அறை உஷ்ணநிலையிலும்[4] திரவமாகவே இருக்கும்.

---

1. flux. 2. heat flux—வெப்பப்பாய்திரள் என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட கால அளவில், ஒரு குறிப்பிட்ட பரப்பளவின் வழியாகப் பாயும் வெப்பத்தின் அள வாகும். இதன் அலகு—கலோரி/ச.செ.மீ./செகண்டு. 3. 'NaK' என்று ஆங்கி லத்தில் பெயர். இது 100 கிலோகிராம் கலவையில், 22 கிலோகிராம் ஸோடியமும், 78 கிலோகிராம் பொட்டாசியமும் கொண்டது. 4. room temperature.

கரிமத் திரவங்கள்[1] **:** கரிமத்திரவங்கள்,[58] கார்பன், ஹைடிரஜன் ஆகிய மூலகங்களையே பிரதானமாகக் கொண்ட கூட்டுப் பொருள்களாகும். எனவே இவற்றை ஆற்றிகளாக உபயோகித்தால், இவை வெப்பத்தைக் கிரகிப்பதோடல்லாமல், தணிப்பான்களாகவும் செயல்படுகின்றன. மேலும் இவை உயர்ந்த உருகுநிலை கொண்டவை. உயர்ந்த உஷ்ண நிலையில், நீரோடு ஒப்பு நோக்கும்போது, இவற்றால் ஏற்படும் அரிமானம்[2] குறைவு. ஆனால் இவை, உயர்ந்த உஷ்ணநிலை, கதிர் வீச்சுத் தாக்கல் ஆகியவற்றால் எளிதில் பாதிக்கப்படுகின்றன. டௌதெர்ம்,[3] சான்டோவாக்ஸ்[4] போன்ற கரிமத் திரவங்கள் அணு உலைகளில் ஆற்றிகளாகப் பயன்படக் கூடியவை.

உருக்கிய உப்புக்கள்[5] **:** உருக்கிய உப்புக்களை அணுஉலையில் ஆற்றிகளாகப் பயன்படுத்துவது பற்றியும் ஆராய்ச்சி நடத்தப்பட்டுள்ளது. இவற்றின் நியூட்ரான் கிரகிக்கும் முகப்பரப்பு அதிகம். இவற்றின் வெப்பப் பெயர்ச்சிப் பண்புகளும் அத்துணை சிறந்தவையல்ல.

தணிப்பான்களும் எதிரனுப்பிகளும்

தணிப்பான்களாகவும், எதிரனுப்பி[6]களாகவும் பயன்படும் பொருள்கள் குறைந்த 'அணுத் திணிவு எண்'[7] கொண்டிருக்க வேண்டும். இவற்றின் நியூட்ரான் கிரகிக்கும் முகப்பரப்பு சிறியதாயும், நியூட்ரானைச் சிதறச் செய்யும் முகப்பரப்பு அதிகமாகவும் இருத்தல் வேண்டும். ஆகையால் நீர், கனநீர், கிராஃபைட்டு, ஹைடிரோ கார்பன்கள், மற்றும் ஹைடிரஜன் அதிகம் கொண்டுள்ள பொருள்களையே தணிப்பான்களாகவும், எதிரனுப்பிகளாகவும் உபயோகிக்க முடியும்.

கிராஃபைட்டு : இங்கிலாந்திலுள்ள அணுஉலைகளுள் பெரும்பாலானவற்றில் கிராஃபைட்டே தணிப்பானாகவும் எதிரனுப்பியாகவும் பயன்படுகிறது. மென்மையான கிராஃபைட்டு ஒருவகைக் கரியாகும். இதன் வெப்பம் கடத்தும் திறன் அதிகம். நுண்துளையுடைமையும்[8] காற்றில் ஆக்ஸிகரணம்[9] ஆகும் தன்மையும் இதன் குறைபாடுகளாகும். அணுஉலை உபயோகத்திற்குத் தேவைப்படும் தூய கிராஃபைட்டு 'பெட்ரோலியக் கோக்'[10]கிலிருந்து தயாரிக்கப்படுகிறது.

பெரில்லியம் : பெரில்லியம், கிராஃபைட்டை விடச் சிறந்த தணிப்பானும் எதிரனுப்பியுமாகும். ஆனால் இது விலை மிகுந்தது; எளிதில் நொறுங்கக்கூடியது; நச்சுத் தன்மை கொண்டது.

நீர் : நீர் விலை குறைந்தது; எளிதில் கிடைக்கக் கூடியது;

---

1. organic liquids ; 2. corrosion 3. dowtherm
4. santowax 5. fused salts 6. reflectors
7. atomic mass number. 8. porosity
9. oxidation 10. petroleum coke.

நியூட்ரானின் வேகத்தைத் தணிக்கும் திறமை அதிகம் கொண்டது. ஆனால் நீரின் நியூட்ரான் கிரகிக்கும் முகப்பரப்பு அதிகமாகும். ஆகையால் நீரைத் தணிப்பானாக உபயோகித்தால் செழிப்பூட்டப்பட்ட யுரேனியத்தையே அணுஉலை எரிபொருளாக உபயோகிக்க வேண்டியது அவசியமாகிறது.

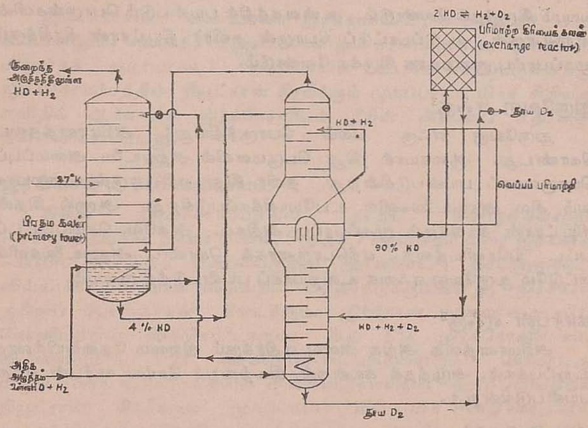
கனநீர்: கனநீரும் நீரைப் போலவே வேகத்தைத் தணிக்கும் திறமை அதிகம் கொண்டது. தவிர இதன் நியூட்ரான் கிரகிக்கும் முகப்பரப்பும் மிகக் குறைவாகும். ஆகையால் இது மிகச் சிறந்ததொரு தணிப்பானாகும். கனநீரைத் தணிப்பானாக உபயோகித்தால், இயற்கை யுரேனியத்தை அணுஉலை எரிபொருளாக உபயோகிக்க முடியும். ஆனால் இதன் விலை மிகவும் அதிகம். ஒரு கிலோகிராம் கனநீரின் விலை சுமார் 400 ரூபாயாகும்! சாதாரண நீரில் சுமார் ஆறுயிரத்து ஐந்நூறில் ஒரு பங்கே கனநீராகும். ஆகவே நீரில் கனநீரின் அடர்வைப்[1] படிப் படியாக அதிகரித்துக் கொண்டே போனால் இறுதியில் சுத்தமான கனநீர் கிடைக்கும். இதற்குப் பயன்படும் முறைகளாவன:

(1) மின்–பகுப்புமுறை[2]
(2) காய்ச்சி வடித்தல்[3]
(3) ரசாயனப் பரிமாற்ற முறை[4].

கனநீர் என்பது டியூடிரியம் ஆக்ஸைடே[5]யாகும். எனவே ஹைடிரஜனிலிருந்து டியூடிரியத்தைப் பிரித்தெடுத்துப் பின் அதைக் கனநீராக மாற்றலாம். நங்கலில்[6] உள்ள கனநீர்த் தொழிற்சாலையில் இம்முறையே பின்பற்றப்படுகின்றது. இங்கு திரவ ஹைடிரஜனிலிருந்து டியூடிரியத்தைப் பிரித்தெடுக்க காய்ச்சி வடித்துப் பிரித்தல்[7] முறை கையாளப்படுகிறது. ஹைடிரஜனின் பெரும்பாலான மூலக்கூறுகள் இரண்டு ஹைடிரஜன் அணுக்களால் ஆனவை. இவற்றை H_2 என்று குறிப்பிடுகிறோம். ஆனால் சில மூலக் கூறுகள் ஒரு ஹைடிரஜன் அணுவும், ஒரு டியூடிரியம் அணுவும் கொண்டவை. இவற்றை 'HD' என்று குறிப்பிடுகிறோம். எனவே, ஹைடிரஜன், பெருமளவு H_2 மூலக் கூறுகளும், சிறிது HD மூலக் கூறுகளும் கொண்ட கலவையாகும். நங்கலிலுள்ள கனநீர்த் தொழிற்சாலைக்குத் தேவையான திரவ-ஹைடிரஜன் நங்கல் உரத் தொழிற்சாலையில், மும்முறை படிப்படியாக மின்பகுப்புக்கு உட்படுத்தப்பட்ட நீரிலிருந்து பெறப்படுகிறது. இந்த திரவ ஹைடிரஜனில் 0·09% HD உள்ளது. இதிலிருந்து டியூடிரியம் பிரித்தெடுக்கப்படும் முறையைப் படம்8-3இல் காண்க.

---

1. concentration. 2. electrolysis 3. distillation
4. chemical-exchange process 5. deuterium oxide
6. Nangal 7. fractional-distillation.



படம் 8-3. ஹைடிரஜனிலிருந்து டியூடிரியத்தைப் பிரித்தெடுத்தல்

இவ்வாறு கிடைக்கும் டியூடிரியத்தைச் சுத்தமான ஆக்ஸிஜனோடு கிரியை செய்வித்தால் சுத்தமான கன நீர் கிடைக்கும்.

உறைகள்,[1] நிர்மாணப் பொருள்கள்[2]

அணு உலை நிர்மாணத்தில், அழுத்தக் கலன், குழாய் முதலிய வற்றைச் செய்வதற்குப் பலவிதமான நிர்மாணப் பொருள்கள் உபயோகிக்கப்படுகின்றன. மேலும் ஆற்றி, தணிப்பான் முதலியவற்றை வைப்பதற்குக் கொள்கலன்களும்[3] தேவைப்படுகின்றன. எரிபொருளைப் பிற பொருள்களிடமிருந்து காக்கவும், பிளவு விளைபொருள்கள் பிற பொருள்களோடு கலப்பதைத் தடுக்கவும் எரிபொருளுக்கு உறையிட வேண்டியது அவசியமாகிறது. அணு உலை நிர்மாணப் பொருள்கள் உறுதி மிக்கவையாயும், அரிமானத்தடை[4] கொண்டவை

---

1. cladding, can 2. structural materials 3. containers 4. corrosion resistance.—ஒரு பொருள் அதன் சூழ்புறத்திலுள்ள பாய் பொருள்களால் அரிக்கப்படாமல் இருக்குமானால், அப்பொருள் அந்தக் குறித்த சூழ்நிலையில் 'அரிமானத்தடை' கொண்டுள்ளதாகச் சொல்லப்படும்.

யாயும், எளிதில் ஆக்கக் கூடியனவாயும், குறைந்த விலையுடையன வாயும் இருத்தல் வேண்டும். உள்ளகத்தில் பயன்படும் பொருள்களின் (எரிபொருள், கட்டுப்பாட்டுப் பொருள் தவிர) நியூட்ரான் கிரகிக்கும் முகப்பரப்பு குறைவாக இருக்க வேண்டும்.

துருவேரு எஃகு[1]

துருவேரு எஃகு பலம் பொருந்தியது; அரிமானத்தடை கொண்டது. ஆகையால் இது பெருமளவில் அணுஉலை அமைப்புப் பொருளாகப் பயன்படுகின்றது. தவிர இது எரிபொருள் உறையாக வும் சில அணுஉலைகளில் உபயோகிக்கப்படுகிறது. ஆனால் இதன் நியூட்ரான் கிரகிக்கும் முகப்பரப்பு அதிகம். ஆகவே செழிப்பூட்டப் பட்ட யுரேனியத்தை எரிபொருளாகக் கொண்ட அணுஉலைகளில் மட்டுமே துருவேரு எஃகை உறையாகப் பயன்படுத்த முடியும்.

கார்பன் எஃகு[2]

அரிமானத்தை அதிக அளவு எதிர்க்கும் திறமை தேவையில்லாத உறுப்புக்கள், அழுத்தக் கலன்கள் இவற்றைச் செய்ய கார்பன் எஃகு பயன்படுகின்றது.

அலுமினியம்[3]

குறைந்த உஷ்ணநிலையில் செயல்படும் அணுஉலைகளில் அலு மினியம் உறையாகவும், அமைப்புப் பொருளாகவும் பயன்படுத்தப் படுகிறது.

பெரில்லியம்[4]

குறைந்த நியூட்ரான் கிரகிக்கும் முகப்பரப்பு கொண்டது. ஆனால் இது எளிதில் நொறுங்கும் தன்மையது; நச்சுத் தன்மை கொண்டது. இதன் விலையும் அதிகமாகும்.

மேக்னுக்ஸ்[5]

மக்னீசிய உலோகக் கலவையான மேக்னுக்ஸ் பிரிட்டனில் உள்ள அணுஉலைகளில் எரிபொருள் உறையாகப் பெருமளவில் உபயோகிக்கப் பட்டுள்ளது.

நயோபியம், டான்டலம்

நயோபியம்,[6] டான்டலம்[7] இரண்டும் வேக நியூட்ரான் அணு உலைகளில் எரிபொருள் உறையாகப் பயன்படுகின்றன.

---

1. stainless steel—'எவர்சில்வர்' பாத்திரங்கள் செய்யப் பயன்படுவதும் ஒருவகைத் துருவேரு எஃகேயாகும். 2. carbon steel 3. aluminium 4. beryllium 5. magnox 6. niobium 7. tantalum

ஜிர்க்கோனியம்[1]

ஜிர்க்கோனியக் கலவையான ஜிர்க்கலாய்–2[2], அழுத்த நீர் அணு உலைகளிலும், கொதிநீர் அணுஉலைகளிலும் எரிபொருள் உறையாகவும், அழுத்தக் குழாயாகவும் பெருமளவில் உபயோகிக்கப்படுகின்றது. ஜிர்க்கோனியத்தின் நியூட்ரான் கிரகிக்கும் முகப்பரப்பு மிகச் சிறியது. எளிதில் ஆக்கவல்ல ஜிர்க்கோனியம் நீரின் அரிப்பை எதிர்க்கும் தன்மை கொண்டது.

ஜிர்க்கான்,[3] பேடெலியைட்[4]

இவை ஜிர்க்கோனியத்தின் தாதுப் பொருள்களாகும். தென்னிந்தியக் கடற்கரை மணல், 5 முதல் 7 சதவிகிதம் வரை ஜிர்க்கான் கொண்டது. இந்த மணலிலிருந்து இல்மனைட்[5], மானேசைட்[6], ஸில்லிமனைட்[7] போன்றவற்றைப் பிரித்தெடுக்கும்போது, ஜிர்க்கான் துணைப் பொருளாகக்[8] கிடைக்கும். ஜிர்க்கான் மணலானது ஜிர்க்கோனியத்தின் ஸிலிகேட்[9]டாகும். இது 65% ஜிர்க்கோனிய-டை-ஆக்ஸைடும்[10], 1·5% ஹாஃப்னிய-டை-ஆக்ஸைடும்[11] கொண்டது. மிகுதி ஏனைய உலோகங்களின் ஆக்ஸைடுகளாகும். ஹாஃப்னியத்தின் நியூட்ரான் கிரகிக்கும் முகப்பரப்பு மிக மிக அதிகமாதலால், ஹாஃப்னியத்தை ஜிர்க்கோனியத்திலிருந்து அறவே நீக்குவது அவசியம். ஜிர்க்கானிலிருந்து தூய ஜிர்க்கோனியம் பிரித்தெடுக்கும் முறையைப் படம் 8-4இல் காண்க.

கட்டுப்பாட்டுப் பொருள்கள்

அணுஉலையை வரம்புநிலை மீருதிருக்கச் செய்யவும், அதை நிறுத்தவும் கட்டுப்பாட்டுப் பொருள்கள் பயன்படுகின்றன. மேலும் அணு உலையைத் தேவையான திறனளவில்[12] செயல்படச் செய்யவும் இப்பொருள்கள் பயன்படுகின்றன. இப்பொருள்களின் நியூட்ரான் கிரகிக்கும் முகப்பரப்பு மிக மிக அதிகமாகும். விஷத்தை உண்டால் உயிர் பிரிவது போல் இப்பொருள்களை அணுஉலையின் உள்ளகத்தே செலுத்தியவுடன் தொடர்கிரியை தடைப்படுகின்றது. எனவே இவை நச்சுப்பொருள்கள்[13] என்றும் கூறப்படுகின்றன. கட்டுப்பாட்டுப் பொருள்கள் அணுஉலையில் மூன்று வகைகளில் பயன்படுகின்றன..

1. **கட்டுப்பாட்டுக் கோல்கள் :** போரான்[14], காட்மியம்[15] ஆகிய உலோகங்களே பெரும்பாலும் கட்டுப்பாட்டுக் கோல்கள் செய்ய உபயோகப்படுகின்றன. போரான், பொடியாக அல்லது கடினமான

---

1. zirconium 2. zircaloy–2 3. zircon 4. badeleyite 5. ilmenite 6. monazite 7. sillimanite 8. bye-product 9. zirconium silicate 10. zirconium dioxide 11. hafnium dioxide 12. power level 13. poisons 14. boron 15. cadmium

ஜிர்க்கான்

↓

ஸோடிய ஹைடிராக்ஸைடு கலந்து, 600°C உஷ்ண நிலைக்குச் சூடாக்கி உருக்குதல்

↓

நீரில் கரைத்து வடிகட்டல்

↓ —→ கரைசலில் ஸோடிய ஸிலிகேட்

வண்டலில் ஜிர்க்கோனிய-டை-ஆக்ஸைடும் ஹாஃப்னிய-டை-ஆக்ஸைடும்

↓

வண்டல் பாளங்களை நைட்ரிக் அமிலத்தில் கரைத்து வடிகட்டல்

↓

கரைசலை ட்ரைப்யூட்டைல் பாஸ்ஃபேட் பாயும் குழாய்க்குள் செலுத்தி, சுத்திகரித்துப் பின் நீர்த்த கந்தக அமிலத்தில் கரைத்தல்

↓ —→ ஹாஃப்னியமும் சிறிதளவு ஜிர்க்கோனியமும் கொண்ட ராஃபினேட்[1]

தூய ஜிர்க்கோனியம் கொண்ட கரைசல்

↓

அம்மோனியாவோடு கிரியை செய்து ஜிர்க்கோனிய ஹைடிராக்ஸைடு வீழ்படிவைப் பெறல்

↓

நீற்றி, ஜிர்க்கோனிய-டை-ஆக்ஸைடைப் பெறல்

↓

கார்பனேடு கலந்து, குளோரினேடு கிரியை செய்து ஜிர்க்கோனிய-டெட்ரா-குளோரைடை[2]ப் பெறல்

↓

மக்னீசியத்தோடு கிரியை செய்து, பின் மக்னீசிய குளோரைடு கசடை நீக்கல்

↓

தூய ஜிர்க்கோனியப் பஞ்சு (உலோகம்)

படம் 8-4 ஜிர்க்கோனியத்தைப் பிரித்தெடுத்தல்
(செய்முறை விளக்கப்படம்)

படிகமாகக் கிடைக்கும் உலோகமாகும். இதன் உருகுநிலை 2300°C ஆனாலும், 600°C உஷ்ண நிலையிலேயே தீப்பற்றி எரியும் தன்மையுடையது. காட்மியம் எளிதில் கம்பியாகும் தன்மையுடைய உலோகமாகும். மேற்கூறிய பொருள்களைத் தவிர ஹாஃப்னியம்[3],

---

1. raffinate 2. zirconium tetrachloride
3. hafnium.

கடோலினியம்[1] போன்ற பொருள்களும் கட்டுப்பாட்டுக் கோல்கள் செய்யப் பயன்படுகின்றன.

2. எரிவுறும் நச்சுப் பொருள்கள்[2]: அணுஉலையின் உள்ளகம் ஆரம்பத்தில் அதிகமான ரியாக்டிவிடி கொண்டதாக இருக்கும். ஆகையால் அணுஉலை வரம்புநிலை மீறுவதைத் தவிர்க்க எரிபொருளோடு நச்சுப் பொருள்கள் சேர்க்கப்படுகின்றன. இந்த நச்சுப் பொருள்கள் நியூட்ரான்களால் தாக்கப்பட்டு எரிவுறுகின்றன[3]. ஆகையால் இவை எரிவுறும் நச்சுப் பொருள்கள் என்றழைக்கப்படுகின்றன. இத்தகைய பொருள்களின் நியூட்ரான் கிரகிக்கும் முகப்பரப்பு எரிபொருளின் நியூட்ரான் கிரகிக்கும் முகப்பரப்பைவிட ஓரளவே அதிகமாக இருக்க வேண்டும். போரான்தான் பெரும்பாலும் எரிவுறும் நச்சுப் பொருளாகப் பயன்படுகின்றது.

3. கரையக்கூடிய நச்சுப்பொருள்கள்[4]: இவை தணிப்பான் அல்லது ஆற்றியில் கரையக்கூடிய பொருள்கள். சில அணுஉலைகள் நிறுத்தப்பட்டபின் பாதுகாப்பிற்காக ஆற்றியில் நச்சுப்பொருள்கள் கரைக்கப்படுகின்றன. இவ்வாறு பயன்படும் பொருள்கள் காட்மியம் ஸல்ஃபேட் போன்ற (நியூட்ரான்களை விழுங்கும் தன்மையுள்ள பொருள்களின்) உப்புக்களேயாகும்.

தணிப்பான், எதிரனுப்பி ஆகியவற்றின் அளவை வேறுபடுத்தியும் அணுஉலையைக் கட்டுப்படுத்த முடியும். ஆகையால் தணிப்பான்களும், எதிரனுப்பிகளும் கூட சில சமயம் கட்டுப்பாட்டுப் பொருள்களாகப் பயன்படுகின்றன. ராஜஸ்தான் அணுஉலையில் தணிப்பானின் அளவு மட்டத்தை தக்கவாறு மாற்றிக் கட்டுப்படுத்தும் முறை பயன்படும்.

தடுப்பான்கள்[5]

மனிதர்களுக்கும் ஏனைய உயிரினங்களுக்கும் கதிர்வீச்சு தீங்கிழைக்க வல்லது. மேலும் கதிர்வீச்சுப் பின்னணியில் கருவிகளும் அளவுமானி[6]களும் சரியாகச் செயல்படமாட்டா. ஆகையால் அணு உலையின் உள்ளகத்தினின்று வெளியேறும் கதிர்வீச்சைத் தடுக்கும் பொருட்டு அணுஉலையின் உள்ளகத்தைச் சுற்றித் தடுப்பு அமைக்க வேண்டியது அவசியமாகிறது. தடுப்பு ஆனது வேக நியூட்ரான்கள், வெப்ப நியூட்ரான்கள், காமாக்கதிர்கள் ஆகியவற்றைக் கிரகிக்கும் தன்மை கொண்டிருக்கவேண்டும். வேக நியூட்ரான்களின் வேகத்தைக் குறைத்து அவற்றை வெப்ப நியூட்ரான்களாக மாற்றும் வேலையைச் செவ்வனே செய்ய வல்லவை லேசான மூலகங்கள். வெப்ப நியூட்ரான் களையும், காமாக்கதிர்களையும் எளிதில் கிரகிக்கும் தன்மை வாய்ந்தவை கனமான மூலகங்கள். ஆகையால் தடுப்பில் லேசான மூலகங்களும்,

---

1. gadolinium 2. burnable poisons 3. burnup
4. soluble poisons 5. shielding materials 6. meters

கனமான மூலகங்களும் கலந்திருக்க வேண்டும். இவற்றைத் தவிர போரான் போன்ற நியூட்ரான்களை அதிக அளவில் கிரகிக்கும் பொருள்களையும் தடுப்பில் சேர்க்கலாம்.

கனமான மூலகங்களுள் இரும்பும், எஃகும் பெருமளவில் அணு உலைத் தடுப்புகளில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இவற்றைத் தவிர காரீயமும்[1] ஒரு சிறந்த தடுப்பாகும். ஆனல் காரீயம் குறைந்த உருகுநிலை கொண்டது, மென்மையானது. ஆகையால் பளுவைத் தாங்கும் திறனற்றது. பிஸ்மத்தும், காரீயத்தைப் போன்ற குறைகள் கொண்டது. டங்ஸ்டன், டான்டலம் ஆகிய இரு மூலகங்களும் அடர்த்தி மிக்கவை; உயர்ந்த உருகுநிலை கொண்டவை. ஆனல் இவை விலை மிகுந்தவை. ஆகையால் இவற்றைச் சஞ்சார[2] அணு உலைகளில் மட்டும் உபயோகிக்கலாம் என்று கருதப்படுகிறது.

டிராம்பே[3]யிலுள்ள 'அப்ஸரா'[4] போன்ற 'நீச்சல்குள அணு உலை[5]'களில், நீரே கதிர்வீச்சுத்தடுப்பாகப் பயன்படுகிறது.

கான்க்ரீட்டு[6] ஒரு சிறந்த தடுப்பாகும். இது பளுவைத் தாங்கும் திறன் கொண்டது; விலை குறைந்தது; எளிதில் நிர்மாணிக்கக் கூடியது. சாதாரண கான்க்ரீட்டில் கனமான மூலகங்கள் அதிகமாகச் சேர்க்கப்படுவதில்லை. ஆகையால் கனமான மூலகங்கள் சேர்க்கப்பட்ட பேரைட்ஸ்[7], ஹேமடைட்[8] கான்க்ரீட்டுப் போன்ற சில விசேஷ கான்க்ரீட்டுகளே பெருமளவில் அணுஉலைத் தடுப்புகளாகப் பயன் படுகின்றன. போரால்* போன்ற பொருள்களைச் சேர்த்தால் கான் க்ரீட்டின் தடுப்புத்திறன் அதிகரிக்கின்றது.

அணுஉலை, அளவற்ற திறன் தரக்கூடியதோர் சாதனமாகும். ஆனல் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுள்ள அணுஉலையின் திறனை அதிகரிக்க அதிகரிக்க, நியூட்ரான் பாய்திரளும், வெப்பப் பாய்திரளும் அதிகரிக் கின்றன. இதன் பயனுய் அணுஉலைப் பொருள்கள் அதிகக் கதிர் வீச்சுக்குள்ளாகின்றன; உயர்ந்த உஷ்ணநிலையை அடைகின்றன. அணுஉலைப் பொருள்கள் தாங்கக்கூடிய கதிர்வீச்சு, உஷ்ணநிலை ஆகியவற்றைப் பொறுத்தே அணுஉலையிலிருந்து பெறக்கூடிய திறன் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. எனவே அணுஉலைப் பொருள்களில் ஏற்படும் அபிவிருத்தி அணுஉலையைச் சிறந்த முறையில் பயன்படுத்த உதவுகின்றது. இதற்கான ஆராய்ச்சி உலகின் அணுசக்தி ஆய்வுக் கூடங்களில் தொடர்ந்து நடைபெற்றுவருகின்றது.

---

* boral: இது போரான் கார்பைடு, அலுமினியம் ஆகியவற்றின் கூட்டுப் பொருளாகும்.

1. lead 2. mobile 3. Trombay 4. Apsara
5. swimming pool reactors 6. concrete
7. barytes 8. haematite.

REFERENCFS

1. S. GLASSTONE AND A. SESONSKE : "*Nuclear Reactor Engineering*" Van Nostrand, Princeton, New Jersey.

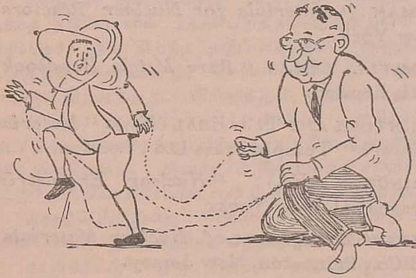
2. B. KOPELMAN : "*Materials for Nuclear Reactors*" McGraw Hill, New York.

3. C. A. HAMPELL (*Ed.*) : "*Rare Metals Handbook*" Chapman and Hall, London.

4. A. B. McINTOSH AND T. J. HEAL (*Ed.*) : "*Materials for Nuclear Engineers*" Temple Press Ltd., London.

5. H. ETHERINGTON (*Ed.*) : "*Nuclear Engineering Handbook*" McGraw Hill, New York.

6. R. F. LUMB : "*Management of Nuclear Materials*" Van Nostrand and Co., Princeton, New Jersey.



9. அணுஉலை-சாதனங்கள்

[வ. வெங்கட்ராஜ், எஸ். ராமச்சந்திரன்]

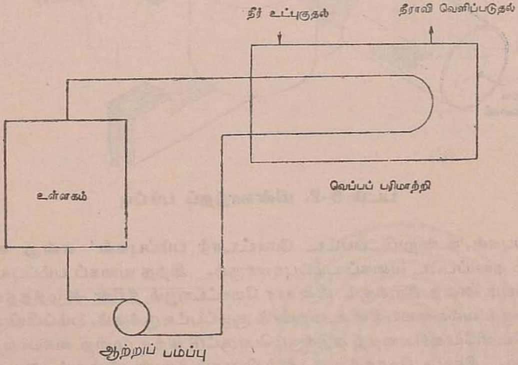
விஞ்ஞானத்தை உறுதுணையாகக் கொண்டு, இயற்கையை வசப் படுத்தும் முயற்சியில் ஈடுபட்டுள்ள மனிதன், எந்த ஒரு துறையிலும் தனக்குக் கிடைக்கும் முதல் வெற்றியோடு திருப்தியடைவதில்லை. அவ் வெற்றிக்கு மெருகேற்றி, அதன் பயனை முழுமையாக அடையும் பணி யில் தொடர்ந்து ஈடுபடுகின்றான். மனிதனின் இந்த இயல்புக்கு ஒரு சான்று இந்த நூற்றாண்டில் அணுசக்தித் துறையில் ஏற்பட்டுள்ள அள விடற்கரிய முன்னேற்றமாகும். 1942-ஆம் ஆண்டில் நிர்மாணிக்கப் பட்ட முதல் அணுஉலைக்கும் இன்றைய அணுஉலைகளுக்கும் உள்ள வேறுபாடு அளவிடற்கரியது. இன்றைய அணுஉலைகள் பல்வேறு உறுப்புக்களால்[1] ஆனவை. அவை நல்ல முறையில் திறமையாகச் செயல்பட, பல சாதனங்கள்[2] அவசியம். அணுக்கிரியைகளினால் அணு உலையில் உண்டாகும் வெப்ப சக்தியை மின்சாரமாக மாற்ற கொதி கலன்[3], டர்பைன்[4], மின்ஜனனி[5] போன்ற சாதனங்கள் தேவைப்படு கின்றன. இவற்றைத் தவிர எரிபொருளூட்டவும், கட்டுப்பாட்டுக் கோல் களை இயக்கவும், தொலைக்கையாட்சிக்கும்[6] சில தனிப்பட்ட சாத னங்கள் உபயோகிக்கப்படுகின்றன.

---

1. components 2. equipment 3. boiler
4. turbine 5. generator 6. remote-handling

அணு உலை ஆற்றிப் பம்புகள்[1]

பிரதம ஆற்றியை[2] அதன் சுற்றோட்டப் பாதை[3]யில் பாயச்செய்ய பம்ப்பு தேவைப்படுகின்றது. ஆற்றியின் தன்மை, அணு உலையின் தன்மை இவற்றிற்கேற்பப் பலவகையான பம்ப்புகள் உபயோகிக்கப்படுகின்றன. அணு உலையில் ஆற்றி வெப்பத்தைக் கிரகிக்கின்றது. எனவே ஆற்றி, உள்ளகத்தை விட்டு வெளியேறும்போது உள்ளதைவிட, உள்ளகத்தில் உட்புகும்போது, குறைந்த உஷ்ணநிலையில் இருக்கும். இவ்வாறு குறைந்த உஷ்ணநிலையில் இருக்கும்போதே ஆற்றி பம்ப்புக்குச் செல்லுமாறு பம்ப்பு அமைக்கப்பட்டிருக்கும். எனவே ஆற்றிப்பம்ப்பு இந்தக் குறைந்த உஷ்ணநிலையில் செயல்படக்கூடியதாயிருந்தால் போதுமானது. இந்த அமைப்பு, படம் 9-1இல் விளக்கப்பட்டுள்ளது.

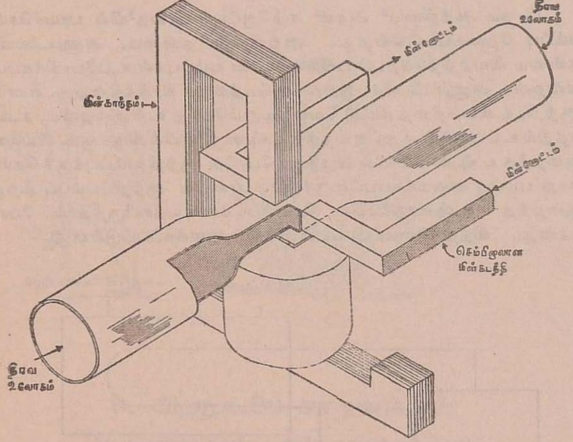


படம் 9–1. ஆற்றிச் சுற்றோட்டப் பாதையில் பம்ப்பின் அமைவிடம்

அணுமின்நிலையங்களில் பயன்படும் அணு உலைகளில் பெரும்பாலும் ஆற்றியின் உட்புகு உஷ்ணநிலை[4] சுமார் 500°F ஆக இருக்கும். ஆகவே ஆற்றிப் பம்ப்புகள் இந்த உஷ்ணநிலையில் செயல்படத்தக்கவையாக இருக்கவேண்டும்.

வாயு ஆற்றிகளைப் பம்ப்பு செய்ய, வாயு பம்ப்புகளைப் பயன்படுத்தலாம். அழுத்தநீர் அணு உலைகளில் நீரின் அழுத்தமும், பாயும் வேகமும் அதிகமாகும். ஆகையால் இவற்றில் பயன்படுத்தப்படும் ஆற்றிப்

1. reactor coolant pumps 2. primary coolant 3. circuit
4. inlet temperature



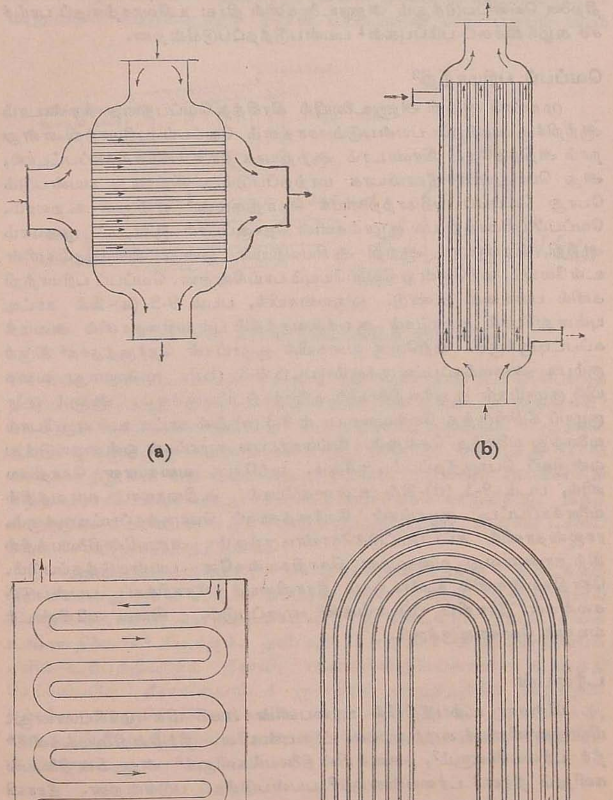
படம் 9–2. மின்காந்தப் பம்ப்பு

பம்ப்புகள், உறையிடப்பட்ட மோட்டார் பம்ப்புகள்[1] என்று கூறப்படும் தனிப்பட்ட வகைப் பம்ப்புகளாகும். இந்த வகைப் பம்ப்புகளில், பம்ப்பும் அதை இயக்கும் மின்சார மோட்டாரும் நீரின் அழுத்தத்தைத் தாங்கும் வல்லமையுள்ள உறையால் சூழப்பட்டிருக்கும். பம்ப்பிலிருந்து நீர் வெளியே கசிவதைத் தடுக்கும்பொருட்டு இந்த முறை கையாளப்படுகிறது. திரவ உலோகத்தை ஆற்றியாகப் பயன்படுத்தும் அணுஉலைகளில், ஆற்றியைப் பம்ப்பு செய்ய மின்காந்தப் பம்ப்புகள்[2] உபயோகிக்கப்படுகின்றன. மின்சார மோட்டாரின் செயல்முறைத் தத்துவமே இத்தகைய பம்ப்புகள் செயல்படப் பயன்படுகின்றது. திரவ உலோகங்களின் மின்கடத்தும் திறன் அதிகம். எனவே திரவ உலோகத்தைத் தக்க காந்தப்புலத்தில் வைத்து, அதன் ஊடே மின்சாரம் பாய்ச்சினல், மின்புலம், காந்தப்புலம் ஆகியவற்றின் விளைவாக திரவ உலோகம் விசைக்கு உட்படுத்தப்படுகின்றது. இந்த விசை*யின் பலனாக திரவ உலோகம் பாய்கின்றது. இந்தத் தத்துவத்தைப் படம் 9-2 விளக்குகின்றது.

---

* இத்தகைய விசையே மின்சார மோட்டாரின் சுழலியைச் சுழலச் செய்கின்றது.

1. canned motor pumps 2. electromagnetic pumps



படம் 9–3. வெப்பப் பரிமாற்றியின் பல வடிவங்கள்

மின்காந்தப் பம்ப்புகளின் திறமை குறைவாகும். எனவே அதிகத் திறனை வெளிப்படுத்தும் அணுஉலைகளில் திரவ உலோகத்தைப் பாய்ச்சச் சுழல்வீச்சுப் பம்ப்புகள்[1] பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

வெப்பப் பரிமாற்றி[2]

முதலாம் ஆற்றி அணுஉலையில் கிரகித்த வெப்பத்தை இரண்டாம் ஆற்றிக்கு மாற்றப் பயன்படும் சாதனம் வெப்பப் பரிமாற்றி என்று நாம் அறிந்ததே. இரண்டாம் ஆற்றியாக நீர் உபயோகிக்கப்பட்டால், அது பொதுவாக நீராவியாக மாற்றப்படும். இவ்வாறு பயன்படும் போது வெப்பப் பரிமாற்றியைக் கொதிகலன்[3] என்றும் கூறலாம். வெப்பப் பரிமாற்றி பல குழாய்களின் தொகுப்பால் ஆனது. முதலாம் ஆற்றி, இரண்டாம் ஆற்றி ஆகியவற்றுள் ஒன்று இக்குழாய்களின் உள்ளேயும், மற்றொன்று வெளியேயும் பாய்கின்றன. வெப்பப் பரிமாற்றி களில் பலவகை உண்டு. ஒருவகையில், படம் 9-3 (a)-இல் காட்டி யுள்ளதுபோல் குழாய்கள் குறுக்குவசத்தில் பல வரிசைகளில் அமைக் கப்பட்டிருக்கும். மற்றொரு வகையில் குழாய்கள் நேர்குத்தாக[4] இருக் கும்படி அமைக்கப்பட்டிருக்கும் [படம் 9-3 (b)]. மூன்றுவது வகை யில் குழாய்கள் குறுக்குநிலையில் வளைக்கப்பட்டிருக்கும். ஆனால் ஒரே குழாய் கீழிலிருந்து மேல்வரை படம் 9-3 (c)-இல் காட்டி உள்ளதுபோல் வளைந்து வளைந்து செல்லும். இவ்வாறு பல குழாய்கள் ஒன்றையடுத்து ஒன்றுகப் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். மற்றொரு வகையான கொதிகல னில், படம் 9-3 (d)-இல் உள்ளதுபோல், குதிரைலாட வடிவத்தில் வளைக்கப்பட்ட குழாய்கள் நேர்குத்தாகப் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். ராஜஸ்தானில் கட்டப்பட்டுக்கொண்டிருக்கும் அணுமின்நிலையத்தில் இந் நான்காவது வகையான கொதிகலன்களே பயன்படுத்தப்படும். கொதிகலன்களில் உண்டாகும் நீராவியைச் சேகரிக்கப் பயன்படும் கலன்கள் நீராவிப் பீப்பாய்கள்[5] எனப்படும். இவை ஸிலிண்டர் வடிவம் கொண்டிருக்கும்.

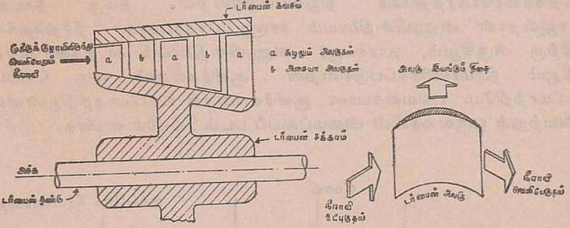
டர்பைன்

மின்சார உற்பத்தியில் டர்பைனின் பணி மிக முக்கியமானது. மின்ஜனனியைச் சுழற்றுபவை டர்பைன்களே. நீர்மின் நிலையங்களில்[6] நீர் டர்பைன்களும்[7], அனல்மின் நிலையங்களிலும்[8] அணுமின் நிலையங் களிலும் நீராவி டர்பைன்களும்[9] பயன்படுத்தப் படுகின்றன. நீராவி

---

1. centrifugal pumps
2. heat exchanger
3. boiler
4. vertical
5. steam drums
6. hydro electric station
7. water turbines
8. thermal power station
9. steam turbines.

டர்பைன் தன் இயக்கசக்தியை, நீராவியின் திணிவுவேகத்தில் ஏற்படும் மாறுதலால் பெறுகின்றது. நீராவி டர்பைனின் அமைப்பைப் படம்



படம் 9–4. நீராவி டர்பைனின் அமைப்பு

9-4-இல் காண்க. டர்பைன் சக்கரம்[1] டர்பைன் தண்டோடு[2] பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. டர்பைன் சக்கரத்தில் பல டர்பைன் அலகுகள்[3] படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். முதலில் நீராவி மூக்குக்குழாய்[4] வழியாகச் செலுத்தப்படும். அப்போது நீராவி விரிவடைந்து மிக அதிகமான வேகம் பெறும். டர்பைன் அலகின்மீது இந்த நீராவி பாயும்போது அதன் திணிவுவேகம் மாறுகிறது. இந்த மாறுதலினால் டர்பைன் சுழற்சி விசை பெறுகின்றது. இதுவே டர்பைனின் செயல்முறைத் தத்துவம்.

அணுமின் நிலையங்களில், கொதிகலன்களிலிருந்து கிடைக்கும் நீராவியானது பூரித[5] உஷ்ண நிலையுடையதாயிருக்கும். ஆனால் அனல் மின் நிலையங்களில், கொதிகலன்களிலிருந்து கிடைக்கும் நீராவி மிகை உஷ்ணநிலையில்[6] இருக்கும். தவிரவும், பொதுவாக அணுமின்நிலையங்களில் உற்பத்தியாகும் நீராவி, அனல்மின்நிலையங்களில் உற்பத்தி செய்யப்படும் நீராவியைவிடக் குறைந்த அழுத்தத்தில் இருக்கும். எனவே அணுமின் நிலையங்களில் பயன்படும் நீராவி டர்பைன்கள், அனல்மின் நிலையங்களில் பயன்படும் டர்பைன்களைவிட அளவில் பெரியவை.

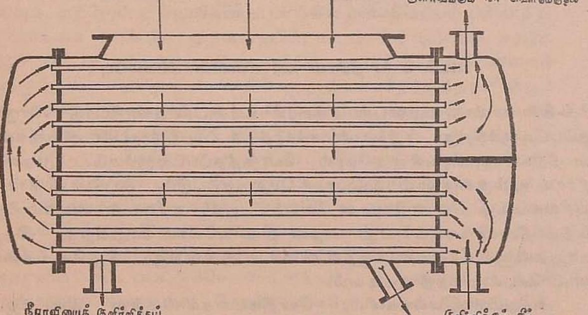
குளிர்கலன்[7]

டர்பைனிலிருந்து வெளிவரும் நீராவியை நீராகக் குளிர்விக்கப் பயன்படும் சாதனமே குளிர்கலன் ஆகும். இவ்வாறு நீராவியின்

---

1. turbine-wheel 2. turbine-shaft 3. turbine blades
4. nozzle 5. saturated 6. superheated 7. condenser

வெப்பத்தைக் கிரகித்து அதை நீராக ஆக்கப் பயன்படும் பொருளும் நீரேயாகும். இதற்கு மிக அதிகமான அளவு நீர் தேவைப்படுகிறது. எனவேதான் அணுமின்நிலையங்கள் கடற்கரையோரத்திலோ அல்லது நதிக்கரையோரத்திலோ நிறுவப்படுகின்றன. நமது நாட்டில் ராஜஸ்தான் அணுமின் நிலயம் ராணு ப்ரதாப்சாகர் நீர்த்தேக்கத் திற்கு அருகிலும், தாராப்பூர் அணுமின்நிலயம் கடற்கரையோரத் திலும் நிர்மாணிக்கப்படுகின்றன. குளிர்கலனும் ஒரு வெப்பப் பரிமாற்றியே. பலவகையான குளிர்கலன்கள் உபயோகத்திலுள்ளன. அவற்றுள் ஒருவகையின் அமைப்பைப் படம் 9-5-இல் காண்க.



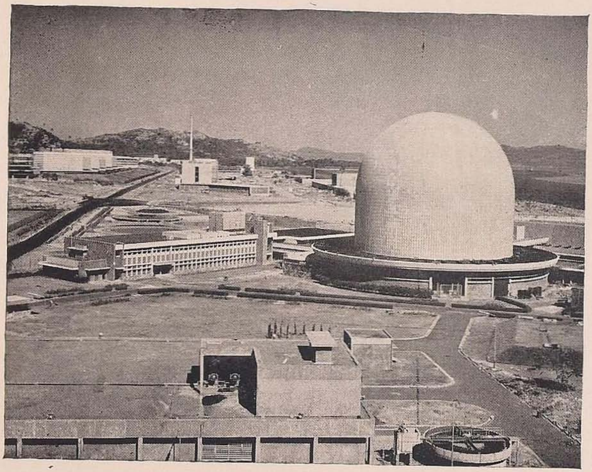
படம் 9-5. குளிர்கலன்

பராமரிப்புச் சாதனங்கள்[1]

எந்திரங்களும், சாதனங்களும் ஒழுங்காகச் செயல்பட வேண்டு மாயின் அவற்றைக் கவனமாகப் பராமரிப்பது அவசியம். அணுஉலைச் சாதனங்களும் இதற்கு விதிவிலக்கல்ல. தவிர, அணுஉலை உறுப்புக் களும், சாதனங்களும் கதிர்வீச்சுச் சூழ்நிலையில் செயல்புரிவதால், அவையும் கதிரியக்கம் கொண்டவை ஆகின்றன. எனவே, அவற்றைப் பராமரிப்பதற்கு, தொலைக்கையாட்சிச் சாதனங்கள், பளுதூக்கிகள் முதலியன அவசியமாகின்றன.

---

1. maintenance equipment



ஸைரஸ் அணு உலையின் உள்ளடக்கி

நிர்மாண உறுப்புக்கள்[1]

அணுஉலைக்கலனும்[2], அணுஉலை உள்ளடக்கியும்[3] அணு உலையின் முக்கியமான உறுப்புக்களாகும்.

அணுஉலைக்கலன் ஆனது, உள்ளகம், ஆற்றி, எதிரனுப்பி ஆகியவற்றைத் தன்னகத்தே கொண்டது.

அணுஉலைக்கலனும், வெப்பப் பரிமாற்றி, ஆற்றிப் பம்ப்பு போன்ற சாதனங்களும் உள்ளடக்கியினுள்ளே அமைக்கப்பட்டிருக்கும். ஏதேனும் விபத்து நேருங்கால், கதிர்வீசும் தன்மையுடைய பொருள்கள் வெளியேருமல் தடுத்துத் தன்னுள் அடக்கிவைப்பதே உள்ளடக்கியின் செயலாகும்.

தொலைக் கையாட்சி[4]

பொம்மலாட்டக்காரன் திரை மறைவில் இருந்துகொண்டே அரங்கத்திலுள்ள பொம்மைகளை ஆட்டிவைப்பதை எல்லோரும் கண்டிருப்பீர்கள். அதுபோல, தூரத்திலிருந்து பொருள்களைக் கையாளும் முறை தொலைக் கையாட்சி என்றும், அதற்குப் பயன்படும் சாதனங்கள் தொலைக்கையாட்சிச் சாதனங்கள் எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன. எரியும் அடுப்பிலிருந்து சூடான பாத்திரத்தை இறக்கும்போது சூட்டிலிருந்து நம் கையைக் காக்க இடுக்கியை உபயோகிக்கிறோம் அல்லவா? அதுபோன்று கதிரியக்கம் உள்ள இடங்களிலும், கதிர்வீசும் பொருள்களைக் கையாளும்போதும், கதிர்வீச்சிலிருந்து காத்துக்கொள்ள, தொலைக்கையாட்சிச் சாதனங்கள் அத்தியாவசியம்.

கதிர்வீசும் தன்மையுடைய பொருள்கள் பிற பொருள்களோடு கலந்து விடுவதையே கதிர் படிதல்[5] என்கிறோம். உதாரணமாக, கதிர்வீசும் பொருள் தரையில் விழுந்துவிட்டால் அந்த இடத்தை கதிர்படிவு உள்ள இடம்[6] என்கிறோம். அதேபோல எந்த ஒரு பொருளும் கதிர்வீசும் பொருளால் தீண்டப்பட்டுவிட்டால் அதனை கதிர்படிந்த பொருள்[7] என்கிறோம். இத்தகைய பொருள்களைத் தொலைவிலிருந்து பாதுகாப்போடு கையாள, தொலைக் கையாட்சிச் சாதனங்கள் பயன்படுகின்றன.

பொதுவான பாதுகாப்பு முறைகளும் கையாளும் முறைகளும்

கதிரியக்க ஐசோடோப்புகள் அல்லது கதிர்வீசும் தன்மையுடைய பொருள்களைக் கையாளும்போது, கதிர்படிந்த தூசியினின்று கையாள்

---

1. structural components
2. reactor vessel.
3. reactor containment
4. remote handling
5. radioactive contamination
6. contaminated area
7. contaminated material

வோரைப் பாதுகாக்க அடைப்புக் கூண்டுகள்[1] பயன்படுகின்றன. இத்தகைய கூண்டுகள் தேவைக்கேற்பப் பல்வேறு அளவுகளில் அமைக்கப்படுகின்றன. கையாளப்படவேண்டிய கதிரியக்கப் பொருள் கூண்டினுள் வைக்கப்பட்டிருக்கும். கதிரியக்கத் தூசு வெளியேருத வாறு கூண்டின் சுவர்கள் அமைக்கப்பட்டிருக்கும். தவிர கூண்டினுள் காற்றின் அழுத்தம், வெளியேயுள்ளதைவிடக் குறைவாக இருக்கும்படி அமைக்கப்பட்டிருக்கும். எனவே, கூண்டுக்கு வெளியேயுள்ள காற்று உள்ளே செல்ல வாய்ப்பு உண்டேயொழிய, கூண்டினுள்ளிருந்து கதிரியக்கத் தூசு வெளியே வர வாய்ப்பில்லை. கூண்டுக்கு உள்ளே யிருக்கும் கதிரியக்கப் பொருள்களைக் கையாள்வதற்குச் சாதகமான அமைப்புகள் கூண்டில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். கையுறைப்பெட்டி[2] இத்தகைய கூண்டிற்கு ஓர் உதாரணமாகும்.

ஆல்ஃபாத் துகள்களின் ஊடுருவும் திறன் மிகக் குறைவாதலால், ஆல்ஃபாத்துகள்களை வெளியிடும் பொருள்களைக் கையாளப் பயன்படும் அடைப்புக் கூண்டுகள் குறைந்த தடிமனுள்ளவையாக இருந்தால் போதுமானது. காமாக் கதிர்களின் ஊடுருவும் திறன் மிகவும் அதிக மாதலால் காமாக் கதிர்களை வெளியிடும் பொருள்களைக் கையாள, தடிப்பு மிகுந்த தடுப்புச் சுவர்களைக்கொண்ட கூண்டுகள் தேவைப்படுகின்றன. இத்தகைய கூண்டுகளில் உள்ளே இருக்கும் பொருள்களைக் காண வசதியாக தடுப்புச் சுவர்களில் தடுப்புத் தன்மையுள்ள காரீயக் கண்ணுடிகள் [3]* பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இவை தவிர பெரிஸ் கோப்புகளையும்[4] பயன்படுத்தலாம். கூண்டுக்கு வெளியே இருந்து கொண்டே, உள்ளேயிருக்கும் பொருள்களைக் கையாள, ஏவல் பணிக் கைகளும்[5], ஏனைய தொலைக் கையாட்சிச் சாதனங்களும் உதவுகின்றன.

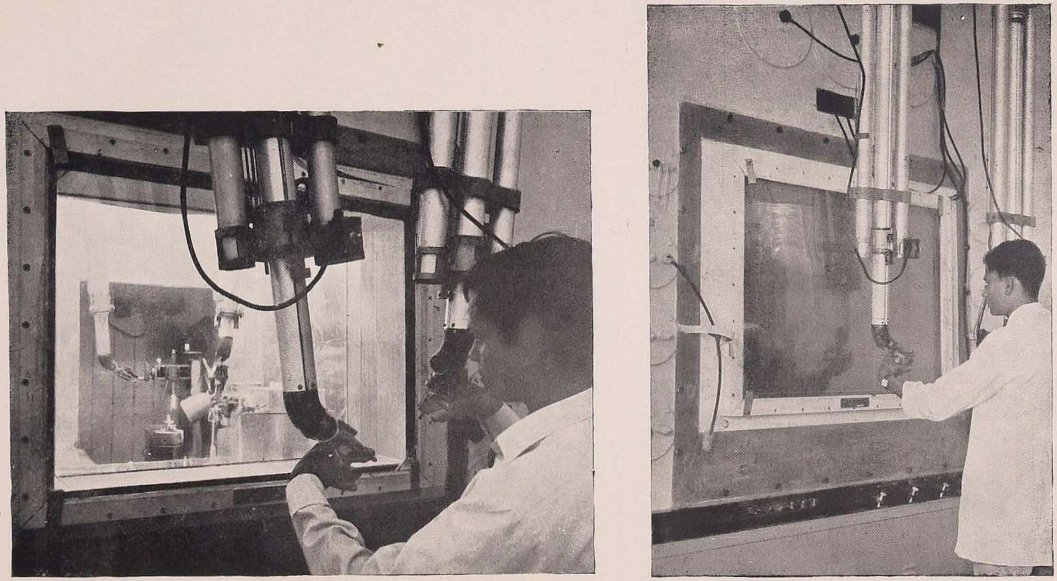
ஏவல்பணிக் கைகளுக்கு ஒரே மாதிரியான இரண்டு ஜோடிக் கைகள் உண்டு. ஒரு ஜோடி கூண்டுக்கு வெளியேயும், மற்ருெரு ஜோடி கூண்டுக்கு உள்ளேயும், அமைக்கப்பட்டிருக்கும். கூண்டுக்கு வெளியேயுள்ள கைகளை இயக்குவதற்கேற்ப உள்ளேயிருக்கும் கைகளும் செயல்படும். எனவே, கூண்டுக்கு வெளியே இருந்தவாறே, உள்ளே உள்ள கைகளை இயக்கி கூண்டுக்கு உள்ளே இருக்கும் கதிரியக்கப் பொருள்களைக் கையாள முடியும்.

கதிர்வீசும் தன்மையுள்ள பொருள்களைக் கையாளும் கருவிகளும், சாதனங்களும்கூட கதிர்படிந்த பொருள்களாக ஆகலாம். இவற்றை

---

* கண்ணுடி தயாரிக்கும்பொழுது மூலப் பொருள்களுடன் காரீயத்தின் உப்புக்களை கலப்பதால் தடுப்புத்தன்மை சற்று அதிகம் கொண்டுள்ள இவ்வகைக் கண்ணுடிகள் கிடைக்கின்றன.

1. enclosures 2. glove box 3. lead glass
4. periscope 5. master-slave manipulators



ஏவல்பணிக் கைகள் (இரு தோற்றங்கள்)

மேற்கூறிய கூண்டுக்குள் வைத்துத்தான் பராமரிக்கவோ, செப்பனிடவோ வேண்டும். எனவே இத்தகைய கூண்டுகளையும், சாதனங்களையும் அமைக்கும்போது, இயக்குபவர்கள் தடுப்பைக் கடந்து உள்ளே செல்லவேண்டிய அவசியம் மிகக் குறைவாக இருக்குமாறு அவை திட்டமிடப்படுகின்றன.

இத்தகைய அடைப்புக் கூண்டுகளுக்குள்ளே இருப்பவற்றைக் காண, சுவரில் காரீயக் கண்ணுடிகள் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் என்று கூறினேம் அல்லவா? ஆனல் மிகப் பெரிய கூண்டுகளில், இத்தகைய கண்ணுடிகள் மூலம் கூண்டு முழுவதையும் கண்காணிப்பது கடினம். இத்தகைய கூண்டுகளில் பெரிஸ்கோப்புகளை உபயோகித்து கூண்டு முழுவதையும் காணலாம். தவிர, பெரிஸ்கோப்புடன் நுண்பெருக்கிகளையும்[1] உபயோகித்து கூண்டுக்குள் இருக்கும் பொருள்களைப் பெரிது படுத்தியும் காணலாம். பெரிஸ்கோப்புகளை உபயோகிப்பதன் மூலம் கூண்டுக்குச் சுமார் ஐம்பது அடி தூரத்திலிருந்தே கூண்டுக்குள் இருப்பதைக் கண்காணிக்க முடியும். இதைவிடத் தூரத்திலிருந்து கண்காணிக்கவேண்டிய அவசியம் ஏற்படும்போது தொலைப்படக் காட்சியைப்[2] பயன்படுத்தலாம்.

சில பிரத்தியேக முறைகள்

1. கால்வாயில் கையாளும் முறை[3]: சாதாரண நீர் தடுப்பாகவும் பயன்படக் கூடியது என்று நாம் அறிவோம். தவிர, நீருக்குள்ளே இருப்பவற்றை நம்மால் தெளிவாகக் காண முடியும். எனவே கதிரியக்கப் பொருள்களை நீருக்கடியிலே வைத்து, நீர்ப்பரப்பிற்கு மேல் உள்ள மேடையில் இருந்துகொண்டே நீண்ட இடுக்கிகளையும், கொக்கிகளையும், பளுதூக்கிகளையும் கொண்டு, அவற்றைக் கையாள முடியும். இம்முறையே 'கால்வாயில் கையாளும் முறை' எனப்படும். டிராம்பேயிலுள்ள ஸைரஸ்[4] அணுஉலையில், எரிவுற்ற எரிபொருள் தண்டுகளிலிருந்து கதிரியக்கம் கொண்ட எரிபொருள் (யுரேனியம்) பகுதியை மட்டும் வெட்டிப் பிரித்தெடுக்க, இம்முறையே பயன்படுகின்றது. நீரானது தடுப்பாக மட்டும் இல்லாமல் எரிவுற்ற எரிபொருளுக்கு ஆற்றியாகவும் பயன்படுகின்றது. இவ்வாறு கையாளும்போது தூசுகளும், கதிரியக்கப் பொருள்களும் நீரோடு கலப்பது இயற்கையே. இவ்வாறு தூசும் கதிரியக்கமும் கொண்ட நீரை நுண்ணிய வடிகட்டிகளுக்குள்ளும், கலப்பு அயனிமாற்றப் படுகையிலும்[5] செலுத்தித் தூய்மைப் படுத்தலாம்.

---

1. microscope
2. television
3. handling in canals
4. Cirus
5. mixed bed ion exchanger

2. எரிபொருளூட்டும் சாதனம்[1]: இது அணுஉலையில் எரிபொருளை இடுவதற்குத் தேவைப்படும் ஒரு தனிப்பட்ட சாதனமாகும். அணுஉலையின் தன்மைக்கேற்பப் பல வகையான எரிபொருளூட்டும் சாதனங்கள் பயன்படுகின்றன. இவையனைத்தையும் இரு பெரும் பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம். அணுஉலை செயல்படாத பொழுதிலேயே எரிபொருளூட்டக்கூடிய சாதனங்கள் ஒரு பிரிவு. அணுஉலை செயல்படும்பொழுதே எரிபொருளை நீக்கவும், சேர்க்கவும் வசதி கொண்டவையாக அமைக்கப்பட்ட சாதனங்கள் மற்றொரு பிரிவு. பின்னது முன்னதை விட மிகவும் சிக்கலான அமைப்புக் கொண்டது.

தற்போது உலகில் செயல்பட்டு வரும் அணுஉலைகளுள் பெரும்பாலானவற்றில் அணுஉலையை நிறுத்திய பின்பே எரிவுற்ற எரிபொருள்[2] நீக்கப்பட்டுப் பின்பு புதிய எரிபொருள் சேர்க்கப்படுகின்றது. இவ்வேலையைச் செய்வது முதல் வகைச் சாதனமாகும்.

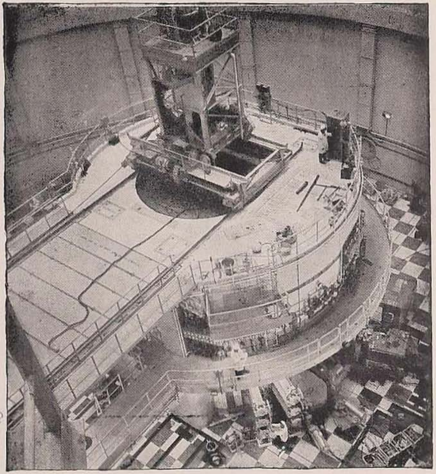
எரிவுற்ற எரிபொருள் கதிர்வீசும் தன்மையுடையது*. ஆகையால் இதை நேர்முகமாகக் கையாள முடியாது. எரிவுற்ற எரிபொருளை நீக்கப் பின்வரும் முறைகளில் ஒன்றைக் கையாளலாம். முதல் முறைப்படி, எரிபொருளானது உள்ளகத்தினின்று நீக்கப்பட்டுப் பின் சில காலம் அணுஉலைக்கு வெகு அருகிலுள்ள நீர் நிறைந்த கால்வாய்களில் நீருக்கடியில் சேர்த்து வைக்கப்படுகின்றது. நாள் செல்லச் செல்ல அதன் கதிர்வீசும் ஆற்றல் குறைந்துவிடும். பின்னர் அதனைக் கையாள்வது எளிது. மேற்கூறிய செயல்களைச் செய்யச் சில தனிப்பட்ட அமைப்புகள் கொண்ட பளுதூக்கிகள்[3] தேவைப்படுகின்றன. இரண்டாவது முறைப்படி, எரிபொருளானது கதிர்வீச்சைத் தடுக்கும் காரீயக் கலன்களில் சேமிப்புப் பள்ளங்களுக்கு[4] எடுத்துச் செல்லப்படுகின்றது.

அணுமின்நிலையங்களில், எரிபொருளூட்டுவதற்காக அணுஉலையை நிறுத்தினால் மின்சார உற்பத்தி நின்றுவிடும். இதனால் தொழிற்சாலைகள் பாதிக்கப்பட்டு உற்பத்தி குறையும். மேலும் பல கோடி ரூபாய் செலவில் நிர்மாணிக்கப்பட்ட அணுமின்நிலையம் சிலமணி நேரம் செயல்படாவிட்டாலும், பெருமளவில் பண நஷ்டம் ஏற்படும். ஆகையால் தற்காலத்தில் நிர்மாணிக்கப்பட்டு வரும் அணுமின்நிலையங்களுள் பெரும்பாலானவற்றில், அணுஉலை செயல்படும்பொழுதே எரிபொருளூட்டக்கூடிய சாதனம் அமைக்கப்படுகின்றது. இதற்காகச்

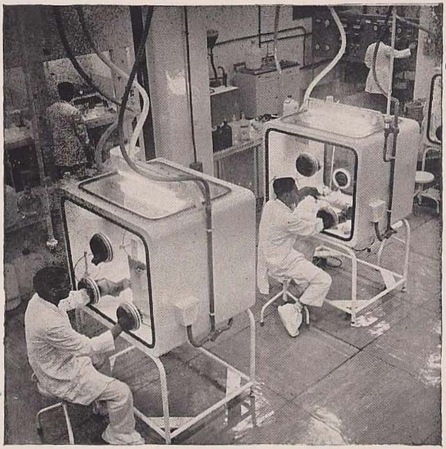
---

* இந்தக் கதிர்வீச்சில் பெரும்பான்மை குறைந்த அரை ஆயுள்காலம் கொண்ட பிளவு விளைபொருள்களால் உண்டாகிறது, எனவே, சில நாட்களே இந்த எரிவுற்ற எரிபொருளை சேமித்து வைத்திருந்தாலும், கதிர்வீச்சின் அளவு கணிசமாகக் குறைந்து விடுகிறது.

1. fuel handling equipment 2. burnt fuel (spent fuel)
3. cranes 4. storage pits



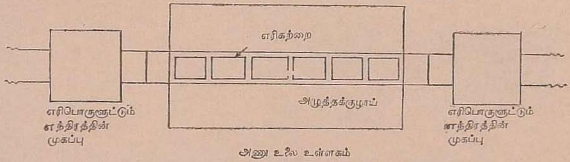
சைரஸ் அணுஉலையின் எரிபொருளூட்டும் எந்திரம்



கையுறைப் பெட்டிகள்

சில தனிப்பட்ட எரிபொருளூட்டும் எந்திரங்கள் தேவைப்படுகின்றன. அணுஉலை செயல்படும் பொழுது எரிவுற்ற எரிபொருளை நீக்கி, புதிய எரிபொருளைச் சேர்க்கக்கூடிய இந்த எந்திரம், ஆட்சி அறை[1]யிலிருந்து தொலைக் கையாட்சிச் சாதனங்களால் இயக்கப்படுகின்றது.

ராஜஸ்தான் அணுமின்நிலையத்தில் இத்தகைய எரிபொருளூட்டும் சாதனம் அமைக்கப்படும். இந்த மின்நிலையத்தில் அணுஉலை கிடைநிலையில் நிறுவப்படும். அணுஉலையின் இரு முனைகளிலும் எரிபொருளூட்டும் எந்திரம் ஒவ்வொன்று உண்டு. இந்த அமைப்பைப் படம் 9-6-இல் காண்க. இந்த இரண்டு எந்திரங்களையும் ஆட்சி அறையி



படம் 9-6. ராஜஸ்தான் அணுஉலையில் எரிபொருளூட்டும் அமைப்பு

லிருந்தே இயக்க முடியும். ஒரு முனையிலுள்ள எந்திரம் புதிய எரிபொருளை அழுத்தக் குழாயில் செலுத்தித் தள்ளும். எதிர் முனையிலுள்ள எரிவுற்ற எரிபொருள், அம்முனையிலுள்ள எந்திரத்தால் பெற்றுக் கொள்ளப்படும். இவ்வாறு எரிபொருள் சேர்த்தலும், நீக்கலும் நடைபெறும். புதிய எரிபொருளைச் சேர்க்காமல் எரிவுற்ற எரிபொருளை மட்டும் நீக்க வேண்டுமாயின், எந்திரத்திலுள்ள செருகு தண்டை[2] உபயோகித்து எரிபொருளை நீக்க முடியும்.

மேலே விவரிக்கப்பட்ட எரிபொருளூட்டும் சாதனம் கிடைநிலையில் அமைக்கப்பட்ட அணுஉலைகளுக்குப் பயன்படும் சாதனமாகும். நேர்குத்தான அமைப்புக் கொண்ட அணுஉலைகளின் எரிபொருளூட்டும் சாதனம் பெரும்பாலும் ஒரே ஒரு எந்திரம் கொண்டதாக இருக்கும். இந்த எந்திரத்தை அணுஉலைக்கு மேலேயோ அடியிலோ அமைக்கலாம். ஆனால் பெரும்பாலான அணுஉலைகளில் இந்த எந்திரம் அணுஉலைக்கு மேலேயே செயல்படுமாறு அமைக்கப்படுகின்றது.

---

1. control room   2. plunger.

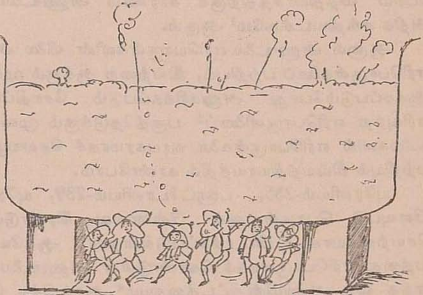
REFERENCES

1. S. GLASSTONE AND A. SESONSKE : " *Nuclear Reactor Engineering* " Van Nostrand, Princeton, New Jersey.

2. R. STEPHENSON : " *Introduction to Nuclear Engineering* " McGraw Hill, New York.

3. E. H. LEWITT : " *Thermodynamics applied to Heat Engines* " Isaac Pitman, London.

4. H. ETHERINGTON (ED) : " *Nuclear Engineering Hand book* " McGraw Hill, New York.



10. அணுஉலை—எரிபொருள்[1]

[வெ. அ. சந்திரமௌளி, எஸ். கே. காந்தன்]

இன்றைய அணுயுகத்தில், அணுசக்தியை மின்சார உற்பத்திக்காகப் பயன்படுத்துவதென்பது மிக அவசியமானதொன்றாகிவிட்டது. அனல் மின்நிலையத்தின் உலைக்கான எரிபொருளாக நிலக்கரி அல்லது எண்ணெய் உபயோகிக்கப்படுகிறது. அதேபோல் அணுஉலைக்கும் ஒரு தனி எரிபொருள் அத்தியாவசியம். முன்னதற்கான எரிபொருள் எந்த வடிவத்தில் வேண்டுமானாலும் இருக்கலாம்; ஆனால் அணுஉலைக்கான எரிபொருள் மிகத் தூய்மையாகவும், சில குறிப்பிட்ட வடிவங்களிலும், தக்க பரிமாணங்களோடும் இருத்தல் வேண்டும். மேலும் ஓர் அனல்மின் நிலையத்தையும், அதே அளவு மின்சக்தியை உற்பத்தி செய்யும் ஒரு அணுமின்நிலையத்தையும் ஒப்பிட்டுப் பார்த்தோமானால், அசாதாரணமான ஒரு வித்தியாசம் பளிச்செனத் துலங்கும். அனல்மின்நிலையத்தினுள் அன்றாடம் வண்டி வண்டியாக நிலக்கரி வந்து கொட்டிக் கொண்டிருக்க, அணுமின்நிலையத்தினுள்ளோ வருடத்தில் சில லாரிகள்தான் எரிபொருளோடு நுழைகின்றன. உதாரணமாக, ராஜஸ்தானில் நிறுவப்படும் அணுமின்நிலையத்தில் 400 மெ. வா. மின்திறனை உண்டாக்க வருடம் ஒன்றுக்குச் சுமார் 50 டன் எடையுள்ள யுரேனிய ஆக்ஸைடு

1. reactor fuel

எரிபொருள் தேவைப்படும் என்று கணக்கிட்டிருக்கிறார்கள். ஆனால் இதே மின்திறனை வெளிப்படுத்தும் ஒரு அனல்மின் நிலையமோ நாளொன்றுக்கு 3200 டன் நிலக்கரியை விழுங்கிக் கொண்டிருக்கும். இம் மிகப் பெரிய வித்தியாசத்திற்குக் காரணம் அணு உலை எரிபொருள்களின் அதிக சக்தியடக்கமே[1] ஆகும்.

ஆனால் அணு உலை எரிபொருள்களின் விலை அதிகம். இத்தகைய எரிபொருள்களைப் பற்றியும், இவற்றை ஆக்கும் முறைகளைப் பற்றியும், ஆக்கப்படும்போது அனுசரிக்கப்படும் சோதிப்புகளைப்[2] பற்றியும், எரிவுற்ற எரிபொருளினைப்[3] பகுத்தெடுக்கும் முறை பற்றியும், அணு உலைகளில் எரிபொருள்களை லாபகரமாகச் செலவழிக்கும் முறைகளைப் பற்றியும் இவ்வத்தியாயத்தில் காண்போம்.

யுரேனியம்-235, புளூட்டோனியம்-239, யுரேனியம்-233 ஆகிய பிளவுபடு பொருள்களுள் பின்னவை இரண்டும் அணுஉலைகளில் செயற்கையாக உண்டாக்கப்படுகின்றன. ஆகவே இயற்கை யுரேனியத்தை எரிபொருளாகக் கொண்டுள்ள அணுஉலையை வைத்துத்தான் எந்த ஒரு அணுமின் திட்டத்தையும்[4] ஆரம்பிக்க வேண்டியிருக்கிறது. இது பற்றிப் பின்பு விரிவாகக் காண்போம். இப்போது சாதாரணமாக உபயோகப்படுத்தப்படும் அணுஉலை எரிபொருள்களைப் பற்றிச் சிறிது அறிவோம்.

எரி பொருள்கள்

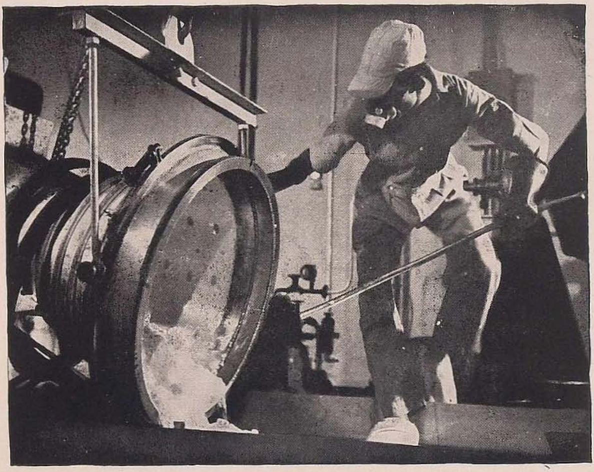
இயற்கை யுரேனிய உலோகம்

மின்சாரம் உற்பத்தி செய்ய, உலகிலேயே முதன் முதலாக அணு சக்தியை உபயோகப்படுத்திய அணுஉலைகளில், இங்கிலாந்தில் கால்டர் ஹால்[5] என்னுமிடத்தில் கட்டிய அணுஉலையும் ஒன்றாகும். 1956ஆம் ஆண்டில் வரம்பு நிலையையை[6] முதன் முதலாக அடைந்த இந்த அணு உலையில் இயற்கை யுரேனிய உலோகம் எரிபொருளாகவும், கிராஃபைட்டு[7] தணிப்பானாகவும், கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு ஆற்றியாகவும் உபயோகிக்கப்படுகின்றன. பிறகு இதே மாதிரியான அணுமின்உலைகள் பிரான்ஸ், இத்தாலி, ஜப்பான் முதலிய நாடுகளிலும் அமைக்கப்பட்டன. இயற்கை யுரேனியத்தில் பிளவுபடக்கூடிய அணுக்கள் 0·7 சதவிகிதமே இருப்பதால், இதை எரிபொருளாக உபயோகிக்கும் அணுஉலை, வரம்பு நிலையை அடைய மிகப்பெரிய பரிமாணம் கொண்டதாகவும், அதிக எரிபொருளீடு[8]* உடையதாகவும் இருத்தல் அவசியம். இவை தவிர, யுரேனியத்துக்கே உரிய தன்மைகள் சில

---

* ஒரு அணுஉலையில் எரிந்துகொண்டிருக்கும் எரிபொருளின் மொத்த அளவு (எடை)

1. energy content 2. tests 3. burnt fuel 4. nuclear power programme. 5. Calder Hall 6. criticality 7. graphite 8. fuel inventory



யுரேனிய உலோகக் கட்டையை வார்த்தெடுத்தல்

இதன் உபயோகத்திற்குக் குறுக்கீடாக உள்ளன. உதாரணமாக, இது 662° C. உஷ்ணநிலையை அடையும் போது, ஆர்த்தோராம்பிக்[1] படிகவடிவம்[2] கொண்ட ஆல்ஃபா நிலை[3] யிலிருந்து, டெட்ராகனல்[4] படிக வடிவம் கொண்ட பீட்டா நிலை[5]க்கு, புறவேற்றுமை[6] அடைகிறது. இம் மாறுபாட்டின் போது உலோகத்தின் கன அளவு அதிகமாகிறது; எரிபொருள் உருக்குலைகிறது. இக்காரணங்களால், அணுஉலையில் யுரேனியத்தின் நடுப்பாகத்தின் உஷ்ணநிலை எந்நேரமும் 662° c.-க்குள்ளேயே இருக்க வேண்டிய நிர்ப்பந்தம் உண்டாகிறது. இதனால் ஆற்றியின் உஷ்ணநிலை இதைவிட மிகக் குறைவாகவே யிருக்கும். ஆற்றியின் உஷ்ணநிலை அதிகமாக, அணுமின் உலையின் திறமை கூடுமாதலால், இயற்கை யுரேனிய உலோகத்தை உபயோகிக்கும் அணுமின் உலையின் திறமை குறைவாகவே இருக்கும். மேலும் கதிர்வீச்சுத் தாக்குதலை[7] யுரேனிய உலோகம் அதிகமாகத் தாங்க சக்தியின்றி, பரிமாண மாற்றம்[8] அடைவது மட்டுமல்லாமல், வளர்ச்சி[9], வீக்கம்[10], சுருக்கம் விழுதல்[11] முதலிய குறைபாடுகளுக்கும் உள்ளாகிறது. யுரேனியத்தின் படிகத்தொகுப்பு[12]களின் 'திசை நோக்குத் தன்மை'[13]யைப் பொறுத்து வளர்ச்சி ஏற்படுகிறது. வளர்ச்சியைக் குறைக்க படிகத் தொகுப்புகளுக்குத் தாறுமாறான திசை நோக்கினை[14] உண்டாக்கவேண்டும். இதற்காக, யுரேனியத்தை எரிமூலகமாக ஆக்கும் போது அதனைச் சூட்டுவினை[15]க்கு உட்படுத்தலாம். பிளவு ஏற்படும் போது உண்டாகும் வாயுக்கள் தொடர்ந்து அழுத்துவதால், அதைத் தாங்க சக்தியின்றி யுரேனியம் வீக்கமடைகிறது. இக்குறைபாட்டைக் குறைக்க யுரேனியத்தை, அலுமினியம், மாலிப்டினம்[16], ஜிர்க்கோனியம்[17], நயோபியம்[18], குரோமியம்[19] போன்றவற்றுடன் உலோகக் கலவைகளாக்கி உபயோகப்படுத்தலாம். ஆனால் இத்தகைய எரிபொருள்களில் பிளவுபடு அணுக்களின் அடர்வு[20] குறைகிறது. கதிர் வீச்சுத் தாக்குதலின்போது ஏற்படும் மேற்பரப்புச் சுருக்கங்கள் யுரேனியத்தின் படிகத் தொகுப்பின் பரிமாணத்தைப் பொறுத்தது. சாதாரணமாக, சூட்டுவினையினால் இவ்விளைவு குறைக்கப்படுகிறது.

மேற்கூறிய குறைபாடுகளினால், யுரேனிய உலோகத்தை டன்னுக்குச் சுமார் 3000 மெகாவாட் நாட்கள் எரிவு வரைதான் உபயோகிக்க

---

1. orthorhombic
2. crystal structure
3. α - state
4. tetragonal
5. β - state
6. phase-change
7. irradiation.
8. dimensional change
9. growth
10. swelling
11. wrinkling
12. grain
13. orientation
14. random orientation
15. heat-treatment
16. molybdenum
17. zirconium
18. niobium
19. chromium
20. concentration.

முடியும். அணுஉலை வேலை செய்யும்போது, எப்போதாவது எரிபொரு ளின் உறையில் வெடிப்பு போன்ற குறை ஏற்பட்டால், ஆற்றியானது எரிபொருளை நேரடியாகத் தாக்க வாய்ப்பு ஏற்படுகிறது. அணுமின் உலைகளில் யுரேனிய உலோகம் எரிபொருளாக இருப்பின் உயர்ந்த உஷ்ணநிலையில் நீரினால் அது பாதிக்கப்பட்டு அரிக்கப்படுமாதலால், கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு போன்ற வாயுக்கள் ஆற்றியாகப் பயன் படுத்தப்படுகின்றன.

யுரேனிய ஆக்ஸைடு

யுரேனிய உலோகத்தைவிட இது சில குணங்களில் மேன்மை பெற்றது. 2800° C. உருகு நிலையையும், 'கனசதுரபடிக வடிவ த்தையும்'[1] கொண்ட யுரேனிய ஆக்ஸைடு, வேறு எவ்விதப் புறவேற்றுமையையும் அடைவதில்லை; கதிர்வீச்சினை அதிகமாகத் தாங்கக் கூடியது; உயர்ந்த உஷ்ண நிலையில் கூட நீரினால் பாதிக்கப்படுவதில்லை. ஆனால், இதிலுள்ள பிளவுபடு அணுக்களின் அடர்வு, யுரேனிய உலோகத்தில் உள்ளதைவிட மிகக் குறைவு; 'வெப்பம் கடத்தும் திறனு'ம்[2] உலோகத்தைவிடக் குறைவே. இதனால் தான் யுரேனிய ஆக்ஸைடைக் குறைந்த விட்டங் கொண்ட தண்டுகளாக உபயோகிக்க வேண்டும். இந்த எரி பொருளுக்கு ஆற்றி யாக, கன நீர் பயன்படுத்தப்படுகிறது. சிறிதளவு செழிப்பூட்டப்பட்ட யுரேனிய ஆக்ஸைடை உபயோகித்தால், சாதாரண நீரையே ஆற்றி யாகப் பயன்படுத்தலாம்.

தற்சமயம் யுரேனிய ஆக்ஸைடு, கொதிநீர் அணுஉலை[3] களிலும், அழுத்தநீர் அணுஉலை[4]களிலும் அதிகமாக உபயோகிக்கப்படுகிறது. தாராப்பூரில்[5] கட்டப்படும் அணுமின்உலையை, கொதிநீர் அணு உலைக்கு உதாரணமாகவும், ராஜஸ்தானில் நிர்மாணிக்கப்படும் அணு மின்உலையை அழுத்தநீர் அணுஉலைக்கு உதாரணமாகவும் கூறலாம். இங்கிலாந்திலும் தற்போதைய அணுமின்உலைகளில் யுரேனிய ஆக்ஸைடை துருவேறா எஃகி[6]னால் ஆன உறையிலிட்டு உபயோகப் படுத்துகிறார்கள். ராஜஸ்தான் அணுமின்உலையில் இயற்கை யுரேனிய ஆக்ஸைடை சுமார் 9000 மெகாவாட் நாட்கள்/டன் எரிவு வரையும், தாராப்பூர் அணுமின்உலையில் சிறிது செழிப்பூட்டப்பட்ட (2·5 சதவிகிதம் யுரேனியம் - 235 கொண்டது) யுரேனிய ஆக்ஸைடை சுமார் 16500 மெகாவாட் நாட்கள் 1 டன் எரிவு வரையும் உபயோகிக்கலாம்.

யுரேனியக் கார்பைடு[7]

யுரேனியக் கார்பைடின் அடர்த்தியும், அதிலுள்ள பிளவு படு அணுக்களின் அடர்வும் யுரேனிய ஆக்ஸைடைவிட அதிகம்.

---

1. cubic crystal structure 2. thermal conductivity
3. boiling water reactor 4. pressurised water reactor
5. Tarapore 6. stainless steel 7. uranium carbide

தவிர, கார்பைடின் வெப்பம் கடத்தும் திறனும் அதிகமே. இதன் உருகுநிலை சுமார் 2375° C. ஆனால் நீரினால் அதிகமாக இது பாதிக்கப்படுவதால், கரிமதீ திரவங்களை[1] யோ, திரவ உலோகங்களையோ[2] அல்லது மந்த வாயுக்களை[3] யோ ஆற்றியாகக் கொண்ட அணு உலைகளில் மட்டுமே எரிபொருளாக உபயோகிக்கப்படுகின்றது. கதிர்வீச்சினால் இதற்கு நேரக்கூடிய மாறுதல்களைப்பற்றி இன்னமும் தெளிவாக அறியப்படவில்லை. அமெரிக்காவில் ஹாலம்[4] என்னுமிடத்தில் 2·5 சதவிகிதம் செழிப்பூட்டப்பட்ட யுரேனியக் கார்பைடு எரிபொருளைக்கொண்டு 20 மெ. வா. மின்திறன் பெற்ற அணுஉலையை இயக்குகிறார்கள். வேக நியூட்ரான் அணு உலைகளில் இதைப் புளுட்டோனியக் கார்பைடுடன் கலந்து உபயோகப்படுத்தலாம். எதிர்காலத்தில் இதற்கு நல்ல மதிப்பு ஏற்படலாம் என்று கருதப்படுகிறது.

திரவ எரிபொருள்[5] :

யுரேனிய ஸல்ஃபேட்,[6] யுரேனிய நைட்ரேட்,[7] யுரேனிய பாஸ்ஃபேட்[8] போன்ற கூட்டுப் பொருள்களை நீரில் கலந்து திரவ எரிபொருள்களாக உபயோகப்படுத்தலாம். இவ்வணு உலைகளை 'ஒருபடித்தான அணு உலைகளு'[9]க்கு உதாரணமாகக் கூறலாம். ஆனால் இக்கரைசல்கள் அரிக்கும் தன்மையை[10] உடையவை. மேலும் கதிர்வீச்சுத் தாக்குதலால் கரைசல்களில் வீழ்படிவு[11] ஏற்படுகிறது. ஆகவே திரவ எரிபொருள்கள் இதுவரை அதிகமாக உபயோகத்தில் இல்லை.

எந்த ஓர் அணுஉலையையும் சிக்கனமாகச் செயல்படுத்த வேண்டுமானால், அதற்கான எரிபொருளீடு குறைந்த பட்சத்தில் இருத்தல் அவசியம். மேலும் எரிபொருளினின்றும் அதிக பட்சத்தில் சக்தியைப் பெறவேண்டும். ஓர் அணுஉலையின் எரிபொருளீடு, அந்த அணு உலையின் வகையையும், திறனையும் பொறுத்தது. அணுஉலையின் திறனுக்கும், எரிபொருளீட்டின் எடைக்கும் உள்ள விகிதமே, அந்த அணுஉலையின் குறிப்பீடு திறன்[12] எனப்படுவதாகும். குறிப்பீடு திறனை, ஒரு டன் எரிபொருளுக்கு இவ்வளவு மெகாவாட் என்

---

1. organic liquids
2. liquid metals
3. inert gases
4. Hallam
5. liquid fuels
6. uranium sulphate (UO_2SO_4)
7. uranium nitrate $UO_2(NO_3)_2$
8. uranium phosphate $(UO_2)_3(PO_4)_2$
9. homogeneous rectors
10. corrosion
11. precipitation
12. specific power

குறிப்பிடுகிறார்கள். ஒரேவித எரிபொருளுக்கு அணுஉலையின் அமைப்புக்குத் தகுந்தாற்போல் குறிப்பீடு திறனும் மாறுபடுகிறது. குறிப்பீடு திறன் அதிகமாக உள்ள உலைகளே சிக்கனமானவையாகும். உதாரணமாக, இயற்கை யுரேனிய உலோகத்தை எரிபொருளாகவும், கிராஃபைட்டைத் தணிப்பானாகவும். கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு வாயுவை ஆற்றியாகவும் கொண்ட அணுஉலைகளின் குறிப்பீடு திறன் சராசரி 2–5 (வெப்ப) மெ.வா./டன் (யுரேனியம்) ஆகஇருக்கலாம். அதிகபட்சம்.5–10 (வெப்ப) மெ.வா./டன் (யுரேனியம்) வரை குறிப்பீடு திறன் பெறலாம். ஆனால் யுரேனிய ஆக்ஸைடை எரி பொருளாகக் கொண்டு, கனநீரைத் தணிப்பானாகவும், ஆற்றியாகவும் உபயோகப்படுத்தும் ராஜஸ்தான் அணுமின்உலை 15 (வெப்ப) மெ.வா./டன் (யுரேனியம்) குறிப்பீடு திறன் கொண்டது. செழிப்பூட்டப்பட்ட யுரேனியத்தை உபயோகப் படுத்துவதன் மூலம் அணுஉலையில் அதிகக் குறிப்பீடு திறன் பெறலாம். ஆனால் யுரேனியத்தைச் செழிப்பூட்டும் முறை மிகக் கடினமானதாகவும், அதிக பணச்செலவு கொண்டதாகவும் இருப்பதால், இயற்கை யுரேனியமே தற்போதைய அணுஉலைகளில் சாதாரணமாக உபயோகிக்கப்படுகிறது.

எரிமூலகத் தயாரிப்பு[1]

கட்டியாகவோ, நுண் தூளாகவோ ஆலையிலிருந்து தருவிக்கப்படும் எரிபொருளை அணுஉலைக்காகத் தேர்க்தெடுக்கப்பட்ட வடிவத்திற்கு மாற்றி, அதற்கான உறையிலிட்டு, காற்றுப் புகாவண்ணம் மூடி, அணு உலைக்கு அனுப்புவதே எரிமூலகத் தயாரிப்பாளரின் கடமையாகும். ஒற்றையாகவோ கற்றையாகவோ ஒரு குறிப்பிட்ட வடிவத்திலிருக்கும் எரிமூலகத்தை ஆக்கும் முறை, சிக்கனத்தையும் தொழில் துறை சார்ந்த நுட்பங்களையும், மற்றும் பலவிதத் தேவைகளையும் பொறுத்து மாறுபடுகிறது. பொதுவாக, உருக்குதல்[2], வார்ப்பெடுத்தல்[3], உருளை நீட்டல்[4], உந்தி மாற்றல்[5], இழுத்து நீட்டல்[6], அடித்து மாற்றல்[7],

---

1. fuel element fabrication.

2. ஒரு பொருளை அதன் உருகுநிலைக்குச் சிறிது மேற்பட்ட உஷ்ணநிலைக்கு உஷ்ணப்படுத்தி திரவ நிலைக்கு மாற்றுதல்—melting.

3. உருக்கப்பட்ட பொருளை ஒரு குறிப்பிட்ட அச்சில் வார்த்து, குளிர வைத்து, அச்சின் வடிவத்தில் அப்பொருளைத் திடநிலையில் பெறுதல்—casting.

4. ஒரு பொருளை, சுழலும் இரு உருளைகளுக்கு நடுவே இட்டு ஸிலிண்டர் வடிவத்திலோ அல்லது தட்டையாகவோ நீட்டுதல்—rolling.

5. சாதாரணமாக ஒரு பொருளைச் சூடுபடுத்தி, தகுந்த அச்சின் மூலம் அழுத்திச் செலுத்தி வேண்டிய வடிவத்துக்கு மாற்றுதல்—extrusion.

6. ஒரு பொருளை, தகுந்த அச்சின் வழியே இழுத்து நீட்டுதல்—drawing.

7. ஒரு பொருளை, கொஞ்சம் கொஞ்சமாக சம்மட்டியால் (hammer) அடித்து வடிவத்தை மாற்றுதல்—forging.

சூட்டுவினை[1], எந்திரக் கடைசல்[2], வெல்டிங்[3], அமுக்குதல்[4], ஸின்டரிங்[5] முதலான செய்முறைகளில், எரிபொருளுக்கு ஏற்றவாறு, சிலவற்றை அனுசரித்து அணுஉலைக்கான எரிமூலகத்தை உருவாக்கு கிறார்கள். இப்போது யுரேனிய உலோகம், யுரேனிய ஆக்ஸைடு இவ்விரண்டையும் முறையே கொண்ட எரிமூலகங்களை உதாரணமாக எடுத்துக்கொண்டு அவற்றைத் தயாரிக்கும் முறைகளைச் சுருக்கமாக ஆராய்வோம்.

(a) இந்தியாவில் பம்பாய் நகரத்தில் ஆராய்ச்சிக்காக நிறுவி யிருக்கும் ஸைரஸ் எனப்படும் அணுஉலையில் இயற்கை யுரேனிய உலோகம் எரி பொருளாகவும், மிகத் தூய்மையான அலுமினியம் உறை யாகவும் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. இதற்கான எரிமூலகம் இந்தியாவிலேயே ஆக்கப்படுகிறது. படம் 10-1இல் இந்த எரிமூலகத் தின் அமைப்பைக் காணலாம். மிகத் தூய்மையான யுரேனியக் கட்டிகளை வெற்றிட உருக்கு முறையில்[6] உருக்கி, ஸிலிண்டர் உரு வம் கொண்ட கட்டைகளாக வார்ப்பெடுக்கிறார்கள். படம் 10-2 இம் முறையை விளக்குகிறது. படத்தின் மேற்பகுதியில் ஒரு கிராஃபைட்டுச் சிமிழும் அதைச் சுற்றிலும் ஒரு தூண்டுமின்சுருளும் காண்பிக்கப்பட் டுள்ளன. இவை, வெற்றிடச் சூழலில் ஒரு கொள்கலனில் அமைக்கப் பட்டுள்ளன. சிமிழினுள் வைக்கப்படும் யுரேனியக்கட்டி, தூண்டு மின் வெப்ப முறையால்[7] சூடுபடுத்தப்பட்டு உருகுகிறது. படத்தில் கீழ்ப் பகுதியில் காண்பிக்கப்பட்டுள்ள வார்ப்பு அச்சில்[8] உருகிய உலோகம் பாய்ந்து ஸிலிண்டர் வடிவத்தில் வார்த்தெடுக்கப்படுகிறது. கொள் கலன், தூண்டுமின் சுருள், வார்ப்பு அச்சு இவை நீரால், தக்கபடி வெப்பம் தணிக்கப்படுகின்றன. இக்கட்டைகளை சுமார் 630° C. வரை சூடுபடுத்தி உருளை நீட்டல் முறையில் விட்டத்தைக் குறைத்து நீளத்தை அதிகரிக்கிறார்கள். ஆனால் இச்செய்முறை

---

1. heat treatment 2. machining 3. welding

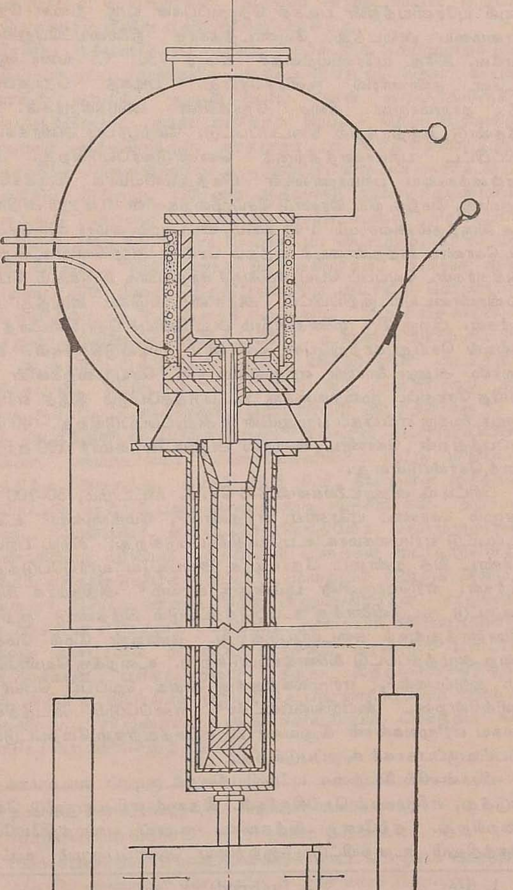
4. தூள் வடிவத்திலிருக்கும் பொருளை, தகுந்த அச்சில் இட்டு, அழுத்தி வில்லைகளாக்குதல்—pressing, compacting

5. அமுக்கி எடுக்கப்பட்ட பச்சை வில்லைகளை, கிட்டத்தட்ட அப்பொருளின் உருகு நிலைக்கு முக்கால் பங்குக்கு உஷ்ணப்படுத்திக் கடினமாக்குதல்—sintering.

6. உருக்கப்படும் பொருளை ஒரு சிறு அறையினுள் வைத்து, அறையிலுள்ள காற்றினைப் பம்ப்பு மூலம் வெளிநீக்கி, காற்றின் அழுத்தம் குறிப்பிட்ட நிலைக்குக் குறைவாக ஆனவுடன், பிரத்தியேக முறையில் பொருளைச் சூடுபடுத்தி உருக்குதல்; யுரேனியம் போன்ற சில பொருள்கள் அதிக உஷ்ண நிலையில் காற்றுடன் கலந்து தீப் பிடிக்கும் தன்மை உடையவை (pyrophoric). ஆகவே இவைகளை வெற்றிடத் தில் உருக்கவேண்டியது அவசியம்; vacuum melting.

7. induction heating 8. mould.

படம் 10-1. ஸைராஸ் அணு உலைக்கான எரிமூலகம்



படம் 10-2. வெற்றிட உருக்குமுறை

யினால் யுரேனியத்தின் படிகத் தொகுப்புகள் ஒரு திசை நோக்குத் தன்மையை அடைந்து, வேண்டத்தகாத நிலையைப்பெறுகின்றன. எனவே, இதே யுரேனியத்தைச் சுமார் 730° C. வரை சூடாக்கி, உடனே தண்ணீரில் குளிரச்செய்து, படிகத் தொகுப்புகளுக்குத் தாறுமாறான திசை நோக்கினை அளிக்கிறார்கள். பிறகு இத்தண்டு எந்திரத்தில் கடையப்பட்டு, மேற்பரப்பு அரைக்கப்பட்டு, குறிப்பிட்ட பரிமாணத்திற்குக் கொண்டுவரப்படுகிறது. ஏற்றுக் கொள்ளக்கூடிய பரிமாணங்கள் மிகத்துல்லியமாக இருக்கவேண்டுமாதலால், மேற்கூறிய இரண்டு செய்முறைகளின் போதும் அதிக கவனமாக இருத்தல் அவசியம். 3·45 செ.மீ. விட்டமும், சுமார் 305 செ.மீ. நீளமும் கொண்ட இத்தண்டைச் சுத்தம் செய்து அலுமினிய உறையினுள் இடுகிறார்கள். வெப்பப் பெயர்ச்சிக்குச் சாதகமாக இருக்கும் பொருட்டு இவ்விரண்டையும் குறிப்பிட்ட அச்சின்[1] வழியே இழுத்து இணைக்கிறார்கள். பிறகு இரு முனைகளிலும் அலுமினியச் சொருகிகளைத் திருகி, வெல்டிங் செய்து காற்றுப்புகா வண்ணம் மூடிவிடுகிறார்கள். இதுவே சைரஸ் அணுஉலையின் எரிமூலகமாகும். செய்முறைகளின் போது பலவித சோதிப்பு முறைகளுக்கு உட்படுத்தப்படும் இந்த எரிமூலகம் அணுஉலைக்கு எவ்விதப் பழுதுமின்றி அனுப்பப்படுகிறது. 40 மெ.வா. வெப்பத்திறன் கொண்ட சைரஸ் அணுஉலை சுமார் 190 எரிமூலகங்களைக் கொண்டுள்ளது.

பிரிட்டிஷ் அணுஉலைகளில் 2–3 செ.மீ. விட்டமும், 30–100 செ.மீ. நீளமும் கொண்ட யுரேனிய எரிதண்டு[2], மேக்னாக்ஸ்[3] உறையில் இடப்பட்டு எரிமூலகமாக உபயோகிக்கப்படுகிறது. சிறிய பரிமாணம் கொண்ட இத் தண்டை நேரடியாக அப்படியே வார்ப்பெடுத்து விடுகிறார்கள். எரிபொருளின் பயன்தரு காலம்[4] அதிகமாக இருக்கும் பொருட்டு சூட்டுவினைக்கு உட்படுத்தப்படும் இத்தண்டு குறிப்பிட்ட பரிமாணத்துக்குக் கடையப்படுகிறது. தண்டின் மேல் மேக்னாக்ஸ் உறை அழுத்தப்பட்டு இணைக்கப்படுகிறது. உறைக்கு வெளியே இருக்கும் துடுப்புகள்[5], எரிமூலகத்துக்கு அதிக வெப்பப் பெயர்ச்சியை அளிக்கின்றன. ஸ்பிரிங்ஃபீல்ட்ஸ்[6] எனப்படும் இடத்தில் இத்தகைய எரிமூலகங்கள் இதுவரை 20 லட்சத்திற்கும் மேற்பட்டுச் செய்யப்பட்டிருப்பதாகக் கூறப்படுகிறது.

பிரான்ஸில் இயற்கை யுரேனியத்தைக் குழாய் வடிவமாக வார்ப்பெடுத்து, எரிமூலகம் செய்கிறார்கள். இதனால் எரிபொருளீடு கொஞ்சம் குறைகிறது. தற்போது இத்தகைய குழாய் வடிவத்திலேயே உட்பக்கத்திலும் உறையிட்டு, ஆற்றியை வெளிப்புறமும் உட்புறமும்

---

1. die 2. fuel rod

3. மக்னீசியம், அலுமினியம் (0·3 சதவிகிதம்) பெரில்லியம் (0·01 சதவிகிதம்) இவைகளாலான உலோகக் கலவை—magnox.

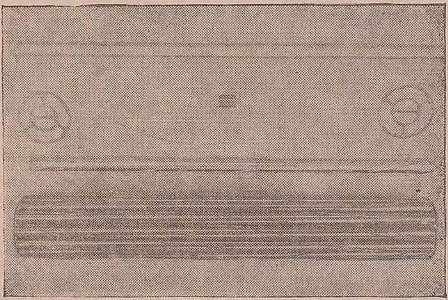
4. useful life 5. fins 6. Springfields

செலுத்த முயற்சி செய்கிறார்கள். இதனால் அணுஉலையின் குறிப்பீடு திறன் பெருகலாம் என்று எதிர்பார்க்கப்படுகிறது.

யுரேனிய ஆக்ஸைடு எரிமூலகம் மேற்கூறிய செய்முறைகளுக்கு முற்றிலும் மாறுபட்ட முறையில் ஆக்கப்படுகிறது. இதன் காரணம் ஆக்ஸைடின் உயர்ந்த உருகுநிலையே. தூள் வடிவத்திலிருக்கும் யுரேனிய ஆக்ஸைடை, தூள் உலோக இயல்[1] செய்முறைகளினால் எரிமூலகமாக ஆக்குகிறார்கள். சாதாரணமாக, இந்த எரிபொருளுக்கு ஜிர்க்கோனியக் கலவையினாலோ துருவேறா எஃகினாலோ ஆன உறையே உபயோகிக்கப்படுகிறது. யுரேனிய ஆக்ஸைடு தூளை, 'கடினமாக்கப் பட்ட எஃகு'[2] அல்லது டங்ஸ்டன் கார்பைடினால்[3] செய்யப்பட்ட அச்சில் இட்டு, அழுத்தி, சுமார் 15–20 மி.மீ. விட்டமும், 15–20 மி.மீ. நீளமும் கொண்ட வில்லைகளாக மாற்றுகிறார்கள். பச்சை வில்லைகள்[4] எனப்படும் இவை, மிகக் குறைந்த அடர்த்தி கொண்டவை. மேலும் எளிதில் உடைந்து போகக் கூடியவை. இப்பச்சை வில்லைகளை ஹைடிரஜன் சூழ்நிலையில், சுமார் 1650° C. உஷ்ணநிலையில் சில மணி நேரம் உஷ்ணப்படுத்துவதன் மூலம் வில்லைகளின் அடர்த்தியை அதிகரிக்கலாம். ஸின்டரிங் எனப்படும் இம் முறையினால் தூளி னின்றும் ஆக்கப்பட்ட வில்லைகள், கோட்பாட்டு அடர்த்தி[5]க்கு 95 சத விகிதம் அடர்த்தியைப் பெறுகின்றன. இவ்வாறு கடினமாக்கப்பட்ட வில்லைகளை, மையமில்லா அரைப்பானில்[6] இட்டு குறிப்பிட்ட விட்டத்திற்கு அரைத்து, சுமார் 49·5 மி.மீ. நீளமுள்ள ஜிர்க்கலாய் உறையிலிட்டு, காற்றுப் புகாவண்ணம் மூடி விடுகிறார்கள். தற்சமயம் மின்தடை வெல்டிங்[7] எனப்படும் பிரத்தியேக செய்முறையினால், ஆர்கான் அல்லது ஹீலியம் சூழ்நிலையில் உறைகள் மூடப்படுகின்றன. இத்தகைய எரிதண்டுகளைக் குறிப்பிட்ட முறையில் ஒன்றாக அமைத்து எரிகற்றை[8] செய்து அணுஉலைக்கு அனுப்புகிறார்கள். ராஜஸ்தான் அணுஉலைக்கான எரிகற்றை மேற்கண்ட முறையில் ஆக்கப்படுகிறது. இக்கற்றை கனடாவில் நிறுவப்பட்டிருக்கும் காண்டு[9] எனப்படும் அணுஉலைக்கான எரிகற்றையை ஒத்தது. இத்தகைய எரிகற்றையையும், அதில் உபயோகிக்கப்படும் பல உபகரணங்களையும் படம் 10-3 விளக்குகிறது. ராஜஸ்தான் அணுமின்உலையில் மொத்தம் சுமார் 3670 எரிகற்றைகள் செலுத்தப்படும்.

---

1. powder metallurgy 2. hardened steel
3. tungsten carbide 4. green pellets
5. theoretical density—உருக்கி வார்க்கப்பட்ட பொருளின் அடர்த்திக்குச் சமம். யுரேனிய ஆக்ஸைடின் கோட்பாட்டு அடர்த்தி சுமார் 11 gm/cc.
6. centreless grinder 7. resistance welding
8. fuel bundle 9. Candu



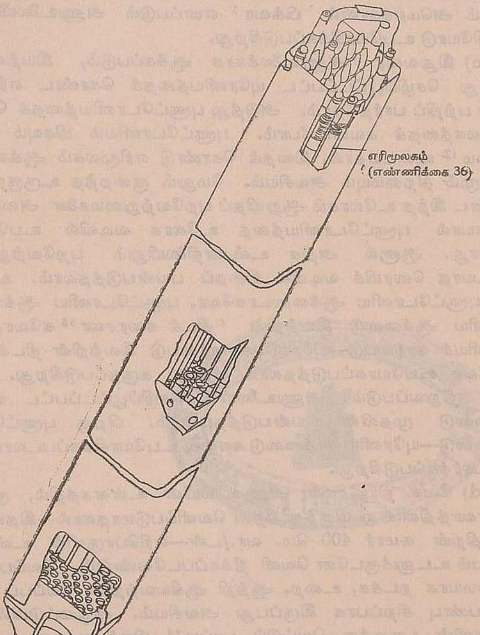
படம் 10-3. ராஜஸ்தான் அணுஉலேக்கான எரிகற்றையும் அதன் உபகரணங்களும்

தாராப்பூர் அணுமின்உலேயில் செழிப்பூட்டப்பட்ட யுரேனிய ஆக்ஸைடு உபயோகிக்கப்பட்டாலும், எரிமூலகம் ஆக்கும் முறை மேற்கூறிய செய்முறையையே ஒத்திருக்கிறது. எரிகற்றையின் டிஸைன், 'காண்டு' எரிகற்றையின் டிஸைனே விடச் சிறிது மாறுபட்டது. தாராப்பூர் அணுமின்உலேயின் எரிகற்றையை படம் 10-4-இல் காணலாம்.

ஏனைய எரிமூலகங்கள்

(a) இந்தியாவில் 'அப்ஸரா' எனப்படும் ஆராய்ச்சி அணுஉலேயில் தட்டையான எரிமூலகம் உபயோகிக்கப்படுகிறது. 50 சதவிகிதத்திற்கும் அதிகமாகச் செழிப்பூட்டப்பட்ட யுரேனியத்தை அலுமினியத்தோடு உலோகக் கலவையாக்கி தகட்டு வடிவத்தில் ஆக்குகிருர்கள். இத் தகட்டை, இரண்டு அலுமினியத் தகடுகளுக்கு நடுவில் இணேத்து, காற்றுப் புகாவண்ணம் சுற்றிலும் வெல்டிங் செய்து விடுகிருர்கள். இம்மாதிரியான பதிமூன்று எரிதகடுகளேச் சேர்த்து 'படச் சட்ட அமைப்பு முறை'[1]யில் அமைக்கிருர்கள். ஒவ்வொரு தகட்டையும் சிறிது வளேத்திருப்பதால், இருதகடுகளின் இடைவெளி மூலம் ஆற்றிபாய வசதியாக இருக்கிறது. மேலும் இதில், புறப்பரப்பளவிற்கும் கன அளவுக்கும் உள்ள விகிதம் அதிகமானதால், வெப்பப் பெயர்ச்சி வீதம் அதிகரிக்கிறது. பெட்டி வடிவம் கொண்ட இத்தகைய எரிமூலகங்கள் அப்ஸராவில் மொத்தம் முப்பது இருக்கின்றன.

1. picture frame arrangenent



படம் 10-4. தாராப்பூர் அணுஉலைக்கான எரிகற்றை

(b) அணுஉலைகளில் எரிமூலகத்தை உயர்ந்த உஷ்ணநிலையில் பயன்படுத்துவதாலும், எரிமூலகத்தின் வெப்பப் பெயர்ச்சிப் பண்புகளை மேம்படுத்துவதாலும் அணுமின் நிலையத்தின் திறமையும், சிக்கனமும் அதிகரிக்கும். எனவே, மேற்கூறிய சிறந்த பண்புகளையுடைய எரிமூலகங்களைத் தயாரிப்பதற்கான ஆராய்ச்சிகள் நடந்து வருகின்றன. உதாரணமாக, சற்று முன்பு குறிப்பிட்டபடி, குழாய் வடிவமாக எரிமூலகத்தை ஆக்கி, உட்புறமும் வெளிப்புறமும் ஆற்றியைப் பாய்ச்சு

வதால், வெப்பப் பெயர்ச்சி வீதத்தை அதிகரிக்கலாம். இத்தகைய எரிமூலகம் அமெரிக்காவில் பிக்வா[1] எனப்படும் அணுஉலையில் கரிம ஆற்றியோடு உபயோகிக்கப்படுகிறது.

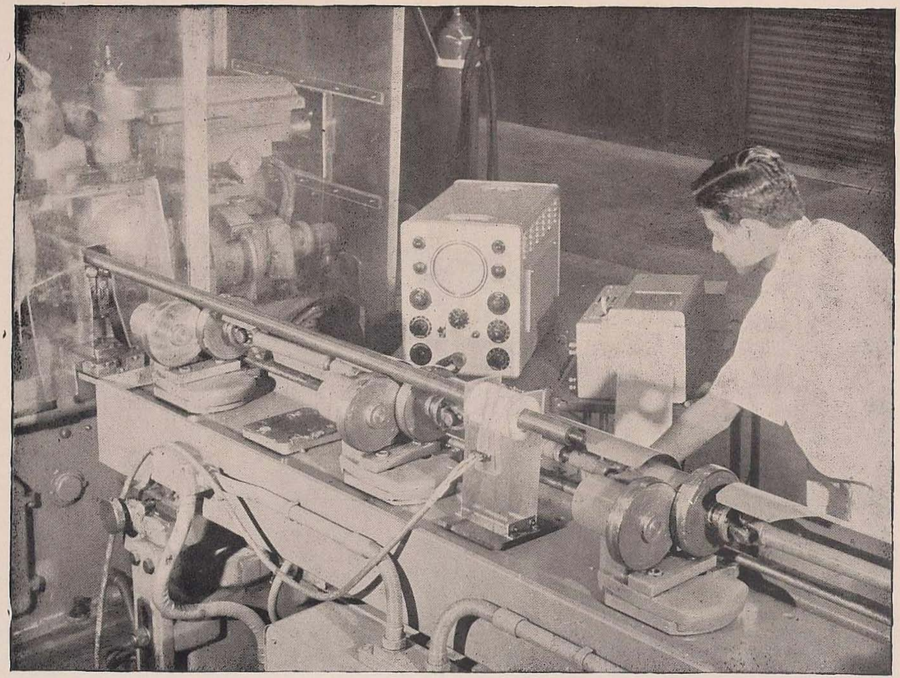
(c) இதுவரை அணுஉலைக்காக ஆக்கப்படும், இயற்கையான அல்லது செழிப்பூட்டப்பட்ட யுரேனியத்தைக் கொண்ட எரிமூலகங்களைப் பற்றிப் பார்த்தோம். அடுத்து புளூட்டோனியத்தைக் கொண்ட எரிமூலகத்தைக் கவனிப்போம். புளூட்டோனியம் மிகவும் 'நச்சுத் தன்மை'[2] உடையதால், இதைக் கொண்டு எரிமூலகம் ஆக்க, அதிக கவனமும் திறமையும் அவசியம். மேலும் குறைந்த உருகுநிலையே* கொண்ட இந்த உலோகம் ஆறுவிதப் புறவேற்றுமைகளை அடைகிறது. ஆகையால் புளூட்டோனியத்தை உலோக வடிவில் உபயோகிக்க முடியாது. ஆனால் அதிக உஷ்ணநிலையிலும் புறவேற்றுமைகள் அடையாத ஸெரமிக் வடிவில் இதைப் பயன்படுத்தலாம். உதாரணமாக புளூட்டோனிய ஆக்ஸைடாகவோ, புளூட்டோனிய ஆக்ஸைடு—யுரேனிய ஆக்ஸைடு இவற்றின் 'திடக் கரைசலா'[3] கவோ, புளூட்டோனியக் கார்பைடு—யுரேனியக் கார்பைடு இவற்றின் திடக் கரைசலாகவோ உபயோகப்படுத்தலாம் என்று கருதப்படுகிறது. தாராப்பூரில் நிறுவப்படும் அணுஉலையில் செழிப்பூட்டப்பட்ட யுரேனிய ஆக்ஸைடு முதலில் பயன்படுத்தப்படும். பிறகு புளூட்டோனிய ஆக்ஸைடு—யுரேனிய ஆக்ஸைடு கலவை உபயோகிக்கப்படலாம் என்று எதிர்பார்க்கப்படுகிறது.

(d) வேக நியூட்ரான் அணுஉலையின் உள்ளகத்தில், குறைந்த பரிமாணத்தினின்று மிகுந்த திறன் வெளிப்படுமாதலால்—இதன் குறிப்பீடு திறன் சுமார் 400 மெ. வா./டன்—எரிபொருளில் உண்டாகும் வெப்பம் உடனுக்குடனே வெளி நீக்கப்படவேண்டும். வெப்ப நீக்கம் திறமையாக நடக்க, உறை, ஆற்றி ஆகியவற்றின் வெப்பப் பெயர்ச்சிப் பண்பு சிறப்பாக இருப்பது அவசியம். அதுமட்டுமின்றி எரிபொருளின் 'குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு'[4] மிகக் குறைவாக இருக்க வேண்டும். சுமார் 7·8 மி. மீ. விட்டமும் 300 மி. மீ. நீளமும் கொண்ட இத்தகைய எரிதண்டுகளை, சாதாரண வார்ப்பெடுப்பு முறைகளால் பெறுவது கடினம். உட்செலுத்து வார்ப்பு[5] முறை என்னும் பிரத்தியேக முறையின் மூலம் இதனைப் பெறுகிறார்கள். படம் 10-5 இம்முறையை விளக்குகிறது. மேலும் வெப்பப் பெயர்ச்சி வீதத்தை அதிகரிப்பதற்கு எரிபொருளும், உறையும் திரவ நிலையில் உள்ள ஸோடியம் பொட்டாசியம் உலோகக் கலவையினால் இணைக்கப்படுகின்றன.

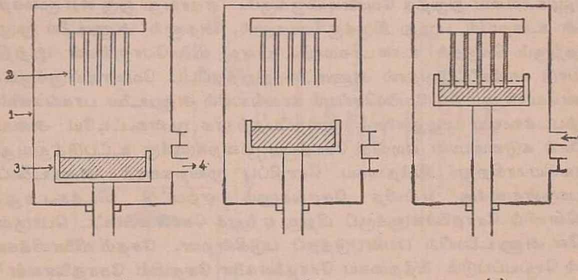
---

* புளூட்டோனியத்தின் உருகுநிலை 640° C.

1. Piqua
2. toxicity
3. solid solution
4. geometrical cross section
5. injection casting



எரிமூலகத்தைச் சோதித்தல்



படம் 10-5. உட்செலுத்து வார்ப்பு முறை

(a) வார்ப்பெடுப்பதற்கான கொள்கலனின்று (1) பம்ப்புகள் மூலம் காற்று (4) இன் வழியாக வெளி நீக்கப்படுகிறது. பிறகு கிராஃபைட்டுச் சிமிழுக்குள் (3) இருக்கும் எரிபொருள் தூண்டு மின் வெப்பமுறையினுல் உருக்கப்படுகிறது.

(b) வழி (4) அடைக்கப்படுகிறது. உருகிய எரிபொருள் சிறு துவாரம் கொண்ட ஸிலிகாக் கண்ணுடிக் குழாய்களை (2) நோக்கித் தூக்கப்படுகிறது.

(c) 5 இன் வழியாகச் செலுத்தப்படும் ஹீலியம் வாயுவின் அழுத்தத்தினுல், உருகிய எரிபொருள் கண்ணுடிக் குழாய்களுள் உந்தப்பட்டு வார்ப்பாகப் பெறப்படு கிறது.

(e) தோரிய உலோகம், தோரிய ஆக்ஸைடு, தோரிய ஆக்ஸைடு—யுரேனிய ஆக்ஸைடு போன்றவைகள், முன்பு கூறிய தூள் உலோக இயல் செய்முறைகளினுல் ஆக்கப்பட்டு, ஈனுலைகளில் வளப்பொருள் களாகப் பயன்படுகின்றன.

எரிமூலகச் சோதிப்பு முறைகள்[1]

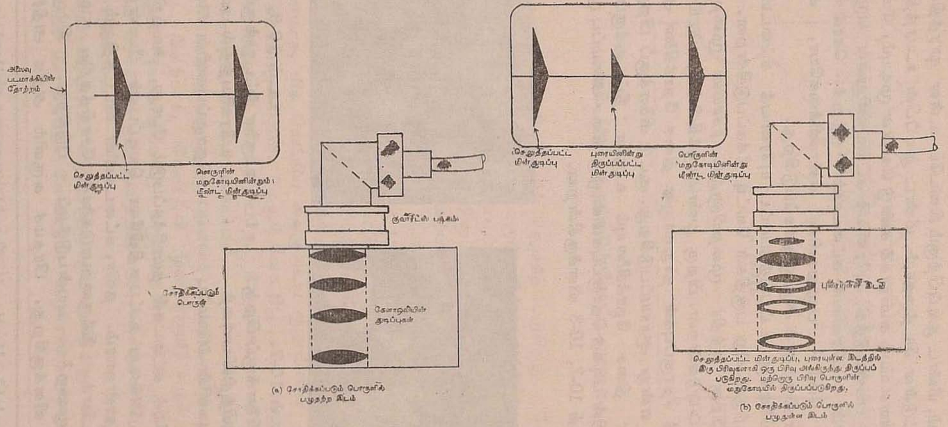
ஒரு அணுஉலை நிறுவனத்திற்கு ஏராளமான பணமும், பொருள் களும், நேரமும் செலவழிக்கப்படுகின்றன. இத்தகைய நிறுவனங்களை உருவாக்கும் பொருள்கள் தூய்மையாகவும், சாதனங்கள் பழுதின்றியும் இருக்க வேண்டும். ஏனெனில் ஏதேனும் ஒரு பொருளில் இருக்கும் பழுதினுல் அணுஉலையில் விபத்து ஏற்படுமேயாயின் உக்கிரமான கதிர்வீச்சு வெளிப்பட்டு, அதனுல் அங்கு வேலை செய்பவர்களுக்கும், சுற்று வட்டாரத்தில் இருக்கும் மக்களுக்கும் கெடுதல் உண்டாகலாம். மற்றும், அணுஉலை வேலை செய்யும்போது, கதிர்வீச்சின் காரணமாக வேலை செய்ய முடியாத இடங்களில் பழுது ஏற்படுமேயானுல், அதனைச்

1. fuel element testing methods

சரி செய்வது கடினமான காரியமாகும். பழுது பார்க்க வேண்டுமானுல் அணுஉலையை நிறுத்த வேண்டியிருக்கும். ஏதாவது ஒரு எரி மூலகத்தின் உறையில் பழுது இருக்குமேயானுல், அதனுல் அணுஉலை முழுவதற்கும் கெடுதல் உண்டாகலாம். பிளவு விளைபொருள்கள் ஆற்றியோடு கலக்கப்படுவதால் அணுஉலை நிறுத்தப்பட வேண்டியிருக்கும். எனவே அணுஉலை வேலைசெய்யும் காலங்களில் அணுஉலை பாகங்களில் ஏற்படக்கூடிய பழுதுகளைக் குறைப்பதற்காக முன்கூட்டியே அவைகளைக் கடுமையான பலவித சோதிப்பு முறைகளுக்கு உட்படுத்துவது அவசியமாகிறது. இத்தகைய சோதிப்பு முறைகளால் அணுஉலைப் பொருள்களுக்கு எவ்வித சேதங்களும் ஏற்பட்டு விடக்கூடாது. ஏனெனில் சோதனைகளுக்குப் பிறகு ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்ட பொருள்களே அணுஉலையில் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. சேதம் விளைவிக்காமல் செய்யப்படும் இத்தகைய சோதனைகளை சேதமில் சோதனைகள்[1] என்று குறிப்பிடுகிருர்கள். அணுஉலைப் பொருள்களில் ஒன்ருன எரி மூலகம் ஆக்கப்படும் போது பல நிலைகளில் மேற்கொள்ளப்படும் சோதிப்பு முறைகளை இப்போது கவனிப்போம்.

வார்த்தெடுக்கப்பட்ட யுரேனியக் கட்டைகளின் மேற்பரப்பில் பழுதுகள் இருக்கின்றனவா என்று முதலில் கண்ணேட்ட அளவில் கவனிக்கப்படுகிறது. நிவர்த்தி செய்ய முடியாத பழுதுடைய கட்டைகள் ஒதுக்கப்படுகின்றன. வெற்றிடத்தில் உருக்கி, வார்த்து எடுக்கப்பட்ட போதிலும், கட்டைகளினுள் புரைகள் தோன்ற வாய்ப்பு உள்ளது. கண்ணுக்குப் புலனுகாத இப்புரைகளை, கேளா ஒலிச் சோதனை[2] களால் கண்டுபிடிக்கலாம். அதிக அதிர்வு எண்[3] உடைய மின் துடிப்புகள்,[4] குவார்ட்ஸ்[5] போன்ற படிகங்களின் உதவியால் கேளா ஒலியாக மாற்றப்படுகின்றன. இக்கேளா ஒலி, ஓர் ஊடகத்திலிருந்து மற்ருேர் ஊடகத்தினுள் செல்லும்போது, ஒலியின் ஒரு பகுதி பிரதிபலிக்கப்படுகிறது. இரண்டாவது ஊடகம் காற்ருக அல்லது வெற்றிடமாக இருக்குமேயானுல், ஒலி முழுவதுமே பிரதிபலிக்கப்படுகிறது. இவ்வாறு பிரதிபலிக்கப்பட்ட ஒலி அலைகள், அதே குவார்ட்ஸ் படிகத்தால் திரும்பவும் மின்துடிப்புகளாக மாற்றப்படுகின்றன. செலுத்தப்பட்ட மின்துடிப்பு[6] களையும், மீண்ட மின்துடிப்பு[7] களையும் அலைவு படமாக்கி[8]யின் உதவியால் கண்டறியலாம். இதனை துடிப்பு எதிரொலி முறை[9] என்று அழைக்கிருர்கள். இக்கொள்கையைப் படம் 10-6 விளக்குகிறது. அலைவு படத்தில் செலுத்தப்பட்ட

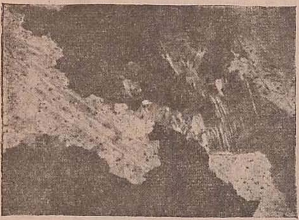
1. non-destructive testing methods
2. ultrasonic testing
3. frequency
4. electrical pulses
5. quartz
6. transmitted pulse
7. reflected pulse
8. oscilloscope
9. pulse-echo method



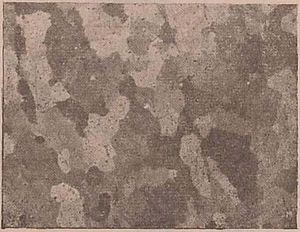
படம் 10-6. துடிப்பு எதிரொலி முறை

துடிப்பிற்கும், மீண்ட துடிப்பிற்கும் இடையே உள்ள தூரத்திலிருந்து, புரை ஏற்பட்டுள்ள இடத்தையும், மீண்ட துடிப்பின் உயரத்திலிருந்து புரையின் அளவையும் சுமாராகக் கண்டு கொள்ள முடியும். மேற்கூறிய முறையைப் பயன்படுத்தி, யுரேனியக் கட்டைகளிலுள்ள பழுதுகளைச் சோதிக்கலாம். யுரேனியக் கட்டையில் 'ஏற்றுக் கொள்ளக்கூடிய வரம்பிற்கு மேல்'[1] பழுதுகளின் எண்ணிக்கையோ, அளவோ, தன்மையோ இருந்தால் அது ஒதுக்கப்படுகிறது.

சூட்டுவினைக்கு உட்படுத்தப்பட்ட யுரேனியக் கட்டையின் இரு முனையிலிருந்தும் சிறு பகுதிகள் வெட்டி நீக்கப்படுகின்றன. இச்சிறு பகுதிகள் பிறகு எந்திர முறையினாலும், ரசாயன முறையினாலும் மெருகேற்றப் படுகின்றன. பிறகு நுண்பெருக்கியின் மூலம், யுரேனியத்தின் படிகத் தொகுப்புகள் தாறுமாறான திசை நோக்கினை அடைந்து விட்டனவா என்று ஆராயப்படுகிறது. சூட்டு வினைக்குப் பிறகு உள்ள தாறுமாறான திசை நோக்கினையும் உருளை 'நீட்டலுக்குப் பிறகு யுரேனியத்தின் படிகத் தொகுப்புகளின் ஒரு திசை அமைப்பு முறையையும், படங்கள் 10-7, 10-8 விளக்குகின்றன.



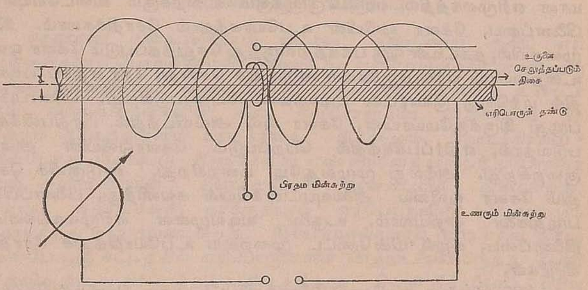
படம் 10-7.
சூட்டு வினைக்குப் பிறகு யுரேனியத்தில் படிகத் தொகுப்புகளின் அமைப்பு



படம் 10-8.
உருளை நீட்டலுக்குப் பிறகு யுரேனியத்தில் படிகத் தொகுப்புகளின் அமைப்பு

யுரேனியக் கட்டைகள் தயாரிக்கப்படும் போது, அவற்றின் மேற்பரப்பிலோ அல்லது உட்பகுதியிலோ வெடிப்புகள் போன்ற குறைபாடுகள் தோன்றலாம். தவிர, கட்டைகளின் விட்டத்திலும் மாற்றங்கள் ஏற்படலாம். இக்குறைபாடுகளைச் சோதித்தறிய சுழல் மின்னோட்ட முறை[2] பயன்படுத்தப் படுகிறது. இம்முறையை படம் 10-9 விளக்குகிறது. பிரதமச் சுருளில் அதிக அதிர்வு எண்

1. acceptable limit 2. eddy current method



படம் 10-9. சுழல் மின்னோட்ட முறை

கொண்ட மாறு மின்னோட்டம்[1] செலுத்தப்படுகிறது. சோதிக்கப்பட வேண்டிய யுரேனியக் கட்டை, சுருள்களின் அச்சி[2]ல் வைக்கப்படுகிறது. துணைச் சுருளில் தூண்டப்படும் மின்னழுத்தத்தின் அளவு, பல காரணிகளைப் பொறுத்திருப்பினும், முக்கியமாக யுரேனியக் கட்டையின் விட்டத்தையும், அதன் மேற்பரப்பிலோ சற்று உட்பகுதியிலோ இருக்கக்கூடிய பழுதுகளையும் பொறுத்திருக்கிறது. சீரான விட்டமுடைய, பழுதற்ற கட்டையைப் பயன்படுத்தி ஒப்பிடுவதன் மூலம் மற்ற கட்டைகளில் உள்ள குறைபாடுகள் அறியப்படுகின்றன.

அணுஉலையில் உபயோகிக்கப்படும் எரிபொருளை ஓர் உறையிலிட்டு உள்ளடக்க வேண்டிய அவசியத்தைப்பற்றி முன்பே கவனித்தோம். சாதாரணமாக, மிக மெல்லிய சுவருடைய குழாய்களே உறைகளாக உபயோகிக்கப்படுகின்றன. மேலும் வேக நியூட்ரான் அணுஉலைக்கான உறையின் விட்டமும் மிகச் சிறியதே. இத்தகைய உறைகள் பரிமாண வேறுபாடுகளுக்காக மட்டுமல்லாமல், சுவர்களில் இருக்கக்கூடிய வெடிப்பு போன்ற பழுதுகளுக்காகவும் சோதிக்கப்படுவது அவசியமாகிறது. இதற்காக, கேளாஒலி முறைகளும், சுழல் மின்னோட்ட முறைகளும் கையாளப்பட்டு வருகின்றன. இன்னும் சிறப்பான முறையில் சோதிப்பு நடத்துவதற்காக ஆராய்ச்சிகள் மேற்கொள்ளப்பட்டு வருகின்றன.

உறையிலிடப்பட்ட எரிபொருளுக்கும் உறைக்கும் இடையேயுள்ள பிணைப்பைச் சோதித்தறிய வேண்டும். உதாரணமாக, தட்டை வடிவ

---

1. alternating current 2. axis

மான எரிமூலகத்தில் எரிபொருளுக்கும் உறைக்கும் இடையேயுள்ள பிணைப்பை, கேளா ஒலியின் உபயோகத்தால் சோதிக்கலாம். இம் முறையில், தகட்டின் ஒரு பக்கத்திலிருந்து செலுத்தப்படும் கேளா ஒலி, உறையையும் எரிபொருளையும் ஊடுருவிச் சென்று, நேர் எதிர்ப் பக்கத்தில் மற்ருெரு குவார்ட்ஸ் படிகத்தால் பெறப்படுகிறது. பிணைப்பில் பழுது இருக்குமேயாயின், கேளா ஒலி அவ்விடத்தில் பிரதிபலிக்கப் படுவதால், எதிர்ப்பக்கத்தில் பெறப்படும் கேளாஒலியின் அளவு குறைகிறது. அல்லது முழுவதுமே மறைகிறது. ஊடுருவிச் செல்லும் கேளா ஒலியை அலைவுபடமாக்கியில் கவனித்து, பிணைப்பின் பழுதுகளை அறியலாம். உருளை வடிவமுள்ள எரிமூலகங்களின் பிணைப்பை, சுழல் மின்னேட்ட முறையை உபயோகித்துச் சோதிக்கிருர்கள்.

எரிபொருள் உறையோடு இணைக்கப்பட்ட பிறகு, வெல்டிங் செய்யப்பட்டு, காற்றுப் புகாவண்ணம் மூடப்படுகிறது. இவ்வாறு வெல்டு செய்யப்பட்ட பகுதிகள் பலம் பொருந்தியதாக மட்டும் இருந்தால் போதாது; உறைக்கு வெளியே செலுத்தப்படும் ஆற்றியை எரிபொருளுடன் சேராமல் பாதுகாக்க வேண்டும். அதாவது இப்பகுதிகளில் கசிவு[1] நேரக்கூடாது. சாதாரணமாக, வெல்டு செய்யப்பட்ட பகுதிகள் எக்ஸ் கதிர்ப்பட முறை[2]யினுல் பரிசோதிக்கப்படுகின்றன. வெல்டு செய்யப்பட்ட பகுதிகளில் இருக்கக்கூடிய நுண்புரை, வெடிப்பு, உள்ளடங்கியிருக்கும் பிசிர்கள்[3] போன்ற பழுதுகள் இம்முறையினுல் கண்டு பிடிக்கப்படுகின்றன. ஆனுல் கதிர்வீச்சுப் படத்தின் மூலம், கசிவு நேரக்கூடிய சிறு துவாரங்களைக் கண்டறிவது மிகக் கடினம். இதற்கெனச் சில பிரத்தியேக முறைகள் கையாளப்படுகின்றன.

அணுமின்உலைக்காக ஆக்கப்படும் எரிமூலகங்கள் ஹீலியம் வாயுவை உபயோகிக்கும் நுட்பமான ஒரு முறையால் சோதிக்கப்படுகின்றன. உறையின் முனைகள் சொருகிகளால் மூடப்பட்டு, வெல்டிங் செய்யப்படு முன், உறைக்குள் ஹீலியம் வாயு உட்செலுத்தப்படுகிறது. வெல்டு செய்தான பிறகு இந்த எரிமூலகம் ஒரு சிறு அறையினுள் வைக்கப்படுகிறது. அறையிலுள்ள காற்று, பம்ப்பு மூலம் வெளி நீக்கப்படுகிறது. வெல்டு செய்யப்பட்ட பகுதியில் துளை இருக்குமேயாயின் எரிமூலகத்தினுள் இருக்கும் ஹீலியம் அத்துளை வழியே வெளிப்படும். இதைப் பிரத்தியேகக் கருவி மூலம் கண்டறியலாம்.

மேற்கூறிய பற்பல சோதிப்பு முறைகளுக்குள்ளாக்கப்பட்டுத் தேர்ந்தெடுக்கப்பட்ட எரிமூலகத்தின் பரிமாணங்கள் சரியாக உள்ளனவா என்றும் சோதிக்கப்படுகிறது. இவ்வாறு மிகுந்த கவனத்துடனும், கண்காணிப்புடனும் சோதிக்கப்பட்ட எரிமூலகங்களே அணு உலைக்கு அனுப்பப்படுகின்றன.

---

1. leak 2. x-ray radiography 3. inclusions.

எரிபொருள் பகுப்பு

சாதாரண மின்உலேக்கான நிலக்கரி, எண்ணெய் ஆகிய எரிபொருள்களேப் போலல்லாமல், அணுஉலே எரிபொருள்களே முழுவதும் எரிக்க முடிவதில்லே. அணுஉலேயில் பிளவு ஏற்படும்போது உண்டாகும் விளேபொருள்களில்[1] சில, நியூட்ரான்களே அதிகமாகக் கிரகிக்கும் நச்சுத்தன்மை வாய்ந்தவை. இதனுலும், தொடர்கிரியை[2]யின்போது பிளவுபடு அணுக்களின் எண்ணிக்கை குறைந்துபோவதாலும் அணுஉலேயின் ரியாக்டிவிடி[3] நாளடைவில் குறைகிறது. மேலும் கதிர்வீச்சுத் தாக்குதலால் எரிபொருளின் பரிமாணமும் தொடர்ந்து மாறுதலடைகிறது. இக்காரணங்களால் முழு எரிவு நிகழுமுன்பே ஒரு கட்டத்தில் எரிபொருள்களே அணுஉலேயிலிருந்து வெளி நீக்கவேண்டிய நிர்ப்பந்தம் உண்டாகிறது. வெளி நீக்கப்பட்ட, எரிவு பெற்ற, எரிபொருள் அந்த நிலேயில் அணுஉலேயில் உபயோகமின்றி இருப்பினும், அதில் புளூட்டோனியமும், மேலும் எரிபடாத பிளவுபடு பொருள்களும் அடங்கியிருக்கின்றன. எரிவுபெற்ற எரிபொருளினின்றும் உபயோகமுள்ள பிளவுபடு பொருள்களேப் பகுத்தெடுப்பதற்கு நீர்த்துப் பகுக்கும் முறையே[4] பெரும்பாலும் பயன்படுத்தப்பெறுகிறது. உதாரணமாக ஸைரஸ் அணுஉலேயினின்றும் வெளிநீக்கப்படும் எரிபொருள் இம்முறையினுலேயே பகுத்துப் பிரிக்கப்படுகிறது.

எரிவுற்ற எரிமூலகத்தில் உள்ள விளேபொருள்கள் மிக்க அதிகமான கதிரியக்கம்[5] கொண்டவை. ஆகவே கதிரியக்கம் கணிசமாகக் குறையும்வரை, எரிமூலகம் தண்ணீருக்குள் 100 முதல் 200 நாட்கள் வரை வைக்கப்படுகின்றது. பிறகு பகுத்தெடுக்கும் நிலேயத்துக்கு[6] எடுத்துச் செல்லப்படுகிறது. அதிகக் கதிரியக்கம் காரணமாக, ரசாயனப் பகுப்பு முறைகளெல்லாம் 5 முதல் 7 அடி வரை தடிப்புள்ள கான்க்ரீட் சுவரினுல் ஆன அறைகளுக்குள் நடத்தப்படுகின்றன. பொருள்களெல்லாம் தொலேக்கையாட்சி முறையினுல்[7] கையாளப்படுகின்றன. அவ்வாறே செய்முறைகளும் அறைக்கு வெளியேயிருந்து கட்டுப்படுத்தப்படுகின்றன. புளூட்டோனியத்தையும், 'செழிப்புக் குறைந்த'[8] யுரேனியத்தையும் பிரித்த பிறகு எஞ்சும் 'கதிரியக்கக் கழிவுப் பொருள்கள்'[9] சுற்று வட்டாரத்திற்கு ஒருவித ஆபத்தும் விளேவிக்காதவாறு அப்புறப்படுத்தப்பட வேண்டும். இதுபற்றி வேருெரு அத்தியாயத்தில் காண்போம்.

---

1. fission products 2. chain reaction 3. reactivity
4. aqueous reprocessing method 5. radioactivity
6. reprocessing plant 7. remote handling
8. depleted 9. radioactive wastes

ஸைரஸ் அணுஉலையிலிருந்து நீக்கப்பட்டு 'ஆறிய'[1] எரிமூலகம் நைட்ரிக் அமிலத்தில் கரைக்கப்படுகிறது. அலுமினிய உறையும் கரைவதற்காக 'மெர்க்குரிக் அயனி'[2] கிரியா ஊக்கியாகப்[3] பயன்படுத்தப்படுகிறது. இக்கரைசலிலிருந்து முதலில் பிளவு விளைபொருள்களும், பிறகு புளுட்டோனியமும், யுரேனியமும் பிரிக்கப்படுகின்றன. இதற்காக 'நீர்த்துப் பகுக்கும் முறை' உபயோகப்படுத்தப்படுகிறது. ட்ரைப்யூட்டைல் பாஸ்ஃபேட்[4] கரைப்பானகப்[5] பயன்படுத்தப்படுகிறது. இந்நீர்த்துப் பகுக்கும் முறையினுல் பிரிக்கப்படும் செழிப்புக் குறைந்த யுரேனியத்திலும், புளுட்டோனியத்திலும் மிகக் குறைந்த அளவிலேயே விளைபொருள் கலப்படம் இருக்கிறது.

அதிக எரிவு பெற்ற எரிபொருளைப் பகுத்தெடுக்க வெப்ப உலோக வியல் முறை[6] உபயோகிக்கப்படுகிறது. இம்முறையினுல் பகுத்தெடுக்கப்படும் பிளவுபடு பொருள்களில் விளைபொருள் கலப்படம் மேற்கூறிய முறையிலுள்ளதைவிட அதிகமாகவே இருக்கும். ஆகவே அதிகத் தூய்மை அவசியமில்லாதபொழுது இம்முறை பயன்படுத்தப்படுகிறது. வேக நியூட்ரான் அணுஉலையில் எரிவுற்ற எரிபொருளை இம்முறையால் பகுத்தெடுக்கிருர்கள்.

எரிபொருள் வட்டம்
மாற்றுலைகளும்[7] ஈனுலைகளும்[8]

யுரேனியம்-235 ஒன்றுதான் இயற்கையில் கிடைக்கும் அணுஉலை எரிபொருளாகையால் அதுவே எந்த ஒரு அணுமின் திட்டத்திற்கும் அடிப்படை எரிபொருளாக அமைகிறது. எனினும் இது மிகக் குறைந்த அளவிலேயே இருப்பதால், இயற்கையில் அதிக அளவில் கிடைக்கக் கூடிய யுரேனியம்-238, தோரியம்-232 ஆகிய வளமான பொருள்களைத் தகுந்தபடி உபயோகித்து, பிளவுபடு பொருள்களாகத் தொடர்ந்து மாற்றும் திட்டம் உருவாக்கப்படவேண்டும். இனி வளப்பொருள் மாற்றத்தை வெற்றிகரமாக நடத்த அணுஉலைகளை எவ்விதம் அமைக்கலாம் என்பதைச் சற்றுக் கவனிப்போம்.

முன் அத்தியாயத்தில் குறிப்பிட்டபடி, எரிபொருளில் ஏற்படும் ஒவ்வொரு பிளவின்போதும் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட அளவில் நியூட்ரான்கள் வெளிப்படுகின்றன. பிளவினின்றும் வெளிப்படும் நியூட்ரான்களில் ஒன்று, தொடர்கிரியையை நடத்த உபயோகிக்கப்படுகிறது. இதுபோக,

---

1. 'cooled'—கதிரியக்கப் பொருளைச் சேமித்து வைப்பதால் அதன் கதிரியக்கம் குறைவதை இவ்வாறு அழைக்கிருர்கள்.

2. mercuric ion 3. catalyst 4. tributyl phosphate
5. solvent 6. pyrometallurgical method
7. converters 8. breeders

அணுஉலையில் இருக்கும் நிர்மாணப் பொருள்களும்[1], மற்றும் உறை போன்ற பிற பொருள்களும் நியூட்ரான்களைக் கிரகிக்கும் தன்மையை உடையவை. இவையெல்லாம் போக எஞ்சிய அதிகப்படியான நியூட்ரான்களைக் கொண்டு அணுஉலையில் யுரேனியம்-238ஐப் புளுட்டோனியம்-239 ஆகவும், தோரியம்-232ஐ யுரேனியம்-233 ஆகவும் மாற்ற முடியும். வளமான பொருள்களைப் பிளவுபடு பொருள்களாக மாற்றும் உலைகளே **மாற்றுலைகள்** எனப்படுகின்றன. இயற்கை யுரேனியத்தை உபயோகிக்கும் கால்டர் ஹால் அணுமின்உலைகளில், பிளவுபடும் ஒவ்வொரு கிராம் யுரேனியம்-235க்கும் சுமார் 0·7 கிராம் புளுட்டோனியம்-239 உண்டாகிறது. இதுபோல் ராஜஸ்தானில் நிறுவப்படும் அணுமின்உலையில் எரிவுபெறும் 1 டன் யுரேனியம் ஆக்ஸைடுக்கு சுமார் மூன்று கிலோகிராம் புளுட்டோனியம் கிடைக்கும். சிறிது செழிப்பூட்டப்பட்ட யுரேனியத்தை எரிபொருளாகக் கொண்ட உலைகளில் இந்த வளப்பொருள் மாற்றம் அதிகரிக்கிறது.

புளுட்டோனியம்-239ஐ எரிபொருளாகக் கொண்ட அணுஉலைகளில், தொடர்கிரியையை நடத்தத் தேவையானவை போக எஞ்சிய நியூட்ரான்களைக் கொண்டு மிக அதிக அளவில், யுரேனியம்-238ஐ வைத்து புளுட்டோனியம்-239 அணுக்களாக மாற்ற முடியும். இது போலவே, யுரேனியம்-233ஐ எரிபொருளாகக் கொண்ட உலைகளில், தோரியம்-232ஐ வைத்து, மிக அதிக அளவில் திரும்பவும் யுரேனியம்-233 அணுக்களைப் பெறமுடியும். இதைத்தான் **அணுஉலை எரிபொருள்களின் வட்டம்**[2] என்று குறிப்பிடுகிறோம். பிளவுபடு பொருள்களையும், வளமான பொருள்களையும் கலந்து உபயோகிக்கும் அணுஉலைகளைத் தக்கவாறு அமைப்பதன் மூலம், எரிக்கப்படும் பிளவுபடு பொருள்களைவிட அதிக அளவில் புதிய பிளவுபடு பொருள்களை உண்டுபண்ண முடியும். இவ்வித அணுஉலைகளே, **ஈனுலைகள்** எனப்படுகின்றன. புளுட்டோனியம்-239 அல்லது யுரேனியம்-233ஐ எரிபொருளாகக் கொண்ட ஈனுலைகளில் குறை வேக அல்லது வேக நியூட்ரான்களைக் கொண்டு, தொடர் கிரியையை நடத்தமுடியும் என்றாலும், வேக நியூட்ரான்களைக் கொண்டு நடத்தப்படும் ஈனுலைகளில்தான் அதிக அளவு 'வளப்பொருள் மாற்றம்' ஏற்படுகிறது. அட்டவணை 10-1 வேக நியூட்ரான், வெப்பநியூட்ரான் இவைகளால் பெறப்படும் வளப்பொருள் மாற்ற அளவினைக் காண்பிக்கிறது.

ஆகவே இயற்கையில் குறைந்த அளவில் கிடைக்கும் யுரேனியம்-235ஐக் கொண்டும், மிக அதிக அளவில் கிடைக்கக்கூடிய யுரேனியம்-238, தோரியம்-232 ஆகிய இரண்டைக் கொண்டும், நீண்டகாலத்திற்குத் தொடர்ந்து அணுசக்தியைப் பெறமுடியும். இதற்கு அடிப்படையானது ஒன்றே—இயற்கை யுரேனிய உலோகத்தை எரிபொருளாகக்

---

1. structural materials   2. reactor fuel cycle

அட்டவணை 10—1

எரிக்கப் படும் பொருள்	வைக்கப் படும் வளப் பொருள்	புதிதாகக் கிடைக்கும் பிளவுபடு பொருள்	ஈன் விகிதம்†[1]	
			வெப்ப நியூட் ரான்களால் தொடர்கிரியை நடக்கும்போது	வேக நியூட் ரான்களால் தொடர்கிரியை நடக்கும்போது
புளூட் டோனியம் —239	யுரேனியம் —238	புளூட் டோனியம் —239	0·6/1·0	1·5/1·0
யுரேனியம் —233	தோரியம் —232	யுரேனியம் —233	1·05/1·0	1·2/1·0

கொண்டு முதற்கட்ட அணு உலைகளை ஆரம்பித்து, எரிவுபெற்ற பொருளி னின்று புளூட்டோனியத்தைப் பிரித்தெடுத்தல். இதன்பிறகு எஞ்சுவது செழிப்புக் குறைந்த யுரேனியமாகும். இவ்விரண்டையும் பயன்படுத்தி ஈனுலைகளைத் துவக்குவது பற்றிச் சிறிது கவனிப்போம்.

(a) செழிப்புக் குறைந்த யுரேனியத்துடன், தகுந்த அளவு புளூட் டோனியம்-239ஐக் கலந்து, வேக நியூட்ரான்களைக் கொண்டு ஈனுலை களைச் செயல்படுத்தலாம். இவற்றிலிருந்து அதிக அளவில் கிடைக்கும் புளூட்டோனியம்-239ஐத் தனியாகவோ திரும்பவும் செழிப்புக் குறைந்த யுரேனியத்துடன் கலந்தோ உபயோகித்து, அணுஉலைகளைத் தொடர்ந்து நடத்தி சக்தியைப் பெறமுடியும்.

(b) புளூட்டோனியத்துடன், செழிப்புக் குறைந்த யுரேனியம் மற்றும் தோரியம் இரண்டையுமே கலந்து வேக நியூட்ரான் உலைகளை அமைக்கலாம். இதிலிருந்து கிடைக்கும் புளூட்டோனியத்தை இவ்வுலை களைத் தொடர்ந்து நடத்த விட்டுவைக்கலாம். தோரியத்திலிருந்து உண் டாகும் யுரேனியம்–233ஐ மாத்திரம் அவ்வப்போது சேகரித்து, அட்ட வணையில் குறிப்பிட்ட இரண்டாவது வகை ஈனுலைகளை அமைக்கலாம்.

(c) புளூட்டோனியத்துடன் தோரியத்தை மட்டும் கலந்து, வேக நியூட்ரான் ஈனுலைகளை அமைக்கலாம். பின் இதனின்றும் கிடைக்கும் யுரேனியம்–233ஐச் சேகரித்து இரண்டாவது வகை ஈனுலைகளை அமைக்கலாம். இதற்கு, முதல்கட்ட அணுஉலைகளிலிருந்து தொடர்ந்து புளூட்டோனியம்–239ஐப் பெறுவது மிக அவசியம்; அல்லது,

† ஒரு ஈனுலையில், புதிதாகக் கிடைக்கும் பிளவுபடு அணுக்களின் எண்ணிக் கைக்கும், அதே சமயத்தில் பிளவினாலோ மற்றவகையிலோ எரிக்கப்பட்ட மொத்த அணுக்களின் எண்ணிக்கைக்கும் உள்ள விகிதமே, ‘ஈன்விகிதம்’ எனப்படும்.

1. breeding ratio

பின்னர்க் கிடைக்கும் யுரேனியம்–233 உடன் யுரேனியம்–238ஐக் கலந்து எரிப்பதன் மூலமும் புளூட்டோனியம்–239ஐப் பெறலாம்.

மேற்கூறப்பட்ட வழிகளில் எது சிறந்தது என்பது, அவ்வுலைகளின் குறிப்பீடு திறனையும், இரட்டிப்புக் காலத்தையும்[1] பொறுத்தது. தன்னைப் போன்ற மற்ற ஒரு ஈனுலையிலிருந்து ஒரு புதிய ஈனுலையை ஆரம்பிக்கத் தேவையான அளவு எரிபொருளைப் பெற எடுத்துக்கொள்ளப்படும் காலமே அந்த ஈனுலையின் இரட்டிப்புக் காலம் எனப்படுவதாகும். முதல் கட்டத்தில் நிர்மாணிக்கப்படும் இயற்கை யுரேனிய உலைகளினின்றும் கிடைக்கும் புளூட்டோனியம்–239ஐக் கொண்டு, மிகக் குறைந்த இரட்டிப்புக் காலத்தைக் கொண்ட ஈனுலைகளையே திட்டத்தின் இரண்டாவது கட்டத்தில் மேற்கொள்ள வேண்டும்.

அதிகக் குறிப்பீடு திறனையும், குறைந்த இரட்டிப்புக் காலத்தையும் அடிப்படையாகக் கொண்டு, முன்னர்க் கூறப்பட்ட மூன்று வழிகளில் ஒன்றைத் தேர்ந்தெடுப்பதன் மூலம், குறைந்த அளவு பிளவுபடு பொருள்களைக் கொண்டு ஓர் அணுமின்சக்தித் திட்டத்தை ஆரம்பித்துப் பின்னர் வளமான பொருள்களைக்கொண்டே, அத்திட்டத்தை விஸ்தரித்து மின்சக்தியைத் தொடர்ந்து பெற இயலும்.

REFERENCES

1. B. KOPELMAN: *"Materials For Nuclear Reactors"* McGraw Hill, New York.

2. J. F. FLAGG: *"Chemical Reprocessing of Reactor Fuels"* Academic Press, New York.

3. D. H. GURINSKY AND G. J. DIENES: *"Nuclear Fuels"* Van Nostrand, Princeton, New Jersey.

4. W. D. WILKINSON AND W. F. MURPHY: *"Nuclear Reactor Metallurgy"* Van Nostrand, Princeton, New Jersey.

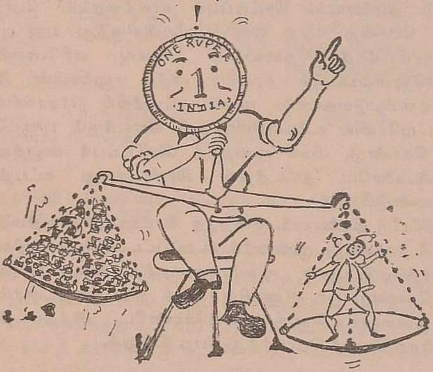
5. A. R. KAUFMANN: *"Nuclear Reactor Fuel Elements—Metallurgy and Fabrication"* Interscience, John Wiley, New York.

6. H. H. HOUSNER AND J. E. SCHUMAR: *"Nuclear Fuel Elements"* Reinhold Publishers, New York.

7. *Fuel Element Fabrication with Special Emphasis on Cladding Materials"* Proceedings of a Symposium held in Vienna, May 10–13, 1960, Academic Press, New York.

---

1. doubling time



11. அணுமின்சக்தி[1]

[ஹா. ராமமூர்த்தி]

அணுஉலைகளைப் பற்றியும் அணுமின்நிலையங்களைப்பற்றியும் தெரிந்துகொண்டபின், உங்கள் மனத்தில் இப்படி ஒரு கேள்வி எழலாம். "நீர்மின்நிலையங்களையும்[2] அனல்மின்நிலையங்களையும்[3] கட்டி, வேண்டிய மின்சக்தியைப் பெறலாமே? எதற்காக அணுசக்தியைக் கொண்டு மின்சாரத்தை உற்பத்தி செய்யவேண்டும்?" என்ற இந்தக் கேள்விக்கு விடையை அறிவதற்கு முன் இப்படி ஒரு கற்பனை செய்து பாருங்கள். உலகத்திலுள்ள நிலக்கரி, எண்ணெய், எரிவாயு, விறகு போன்ற 'வழக்கமான எரி பொருள்களெல்லாம்'[4] திடீரென்று ஒருநாள் மாயமாய் மறைந்துவிடுகின்றன என்று வைத்துக்கொள்ளுங்கள். இதன் விளைவுகளை உங்களால் எண்ணிப்பார்க்க முடிகிறதா? ஆகாய விமானமோ, கப்பலோ, மோட்டார் வண்டியோ ஓடாது.

---

1. nuclear power
2. hydroelectric plants
3. thermal power plants
4. conventional fuels

பெரும்பான்மையான தொழிற்சாலைகளும் ஆலைகளும் மூடப்பட்டு விடும். முக்கியமாக, நீர்மின் நிலையங்களிலிருந்தே சக்தியைப் பெற வேண்டிவரும். ஆனால் நமது தேவையை ஒப்பிடும்பொழுது, கிடைக்கின்ற சக்தி, "யானைப் பசிக்குச் சோளப்பொறி"போல் ஆகும். நாம் இப்பொழுது அனுபவிக்கும் பற்பல வாழ்க்கை வசதிகளையும் மறந்து விட வேண்டியதுதான். நினைக்கவே பயங்கரமாக உள்ள இந்தக் கற்பனை இன்னும் ஒரே நூற்றாண்டிற்குள் உண்மையாகி விடக்கூடும், மேற்கூறிய சாதாரணமாகப் பயன்படும் எரிபொருள்களை நாம் நம்பி யிருக்கும் பட்சத்தில். உலகில் வெகு விரைவாக வழக்கமான எரி பொருள்கள் செலவழிக்கப்பட்டு வருகின்றன. ஜனத்தொகைப் பெருக்கம் இதற்கு ஒரு காரணம். வாழ்க்கைத்தரத்தை மேன்மேலும் உயர்த்திக் கொள்வதற்காக, நாம் சக்தியை மேன்மேலும் அதிகமாகும் வீதத்தில் பயன்படுத்துவது மற்றொரு காரணம். உதாரணமாக நம் நாட்டில் 1960–61இல் பயன்படுத்தப்பட்ட சக்தியின் அளவு சுமார் 24·2 கோடி டன் நிலக்கரியை எரிப்பதால் வெளிப்படும் சக்திக்குச் சமமாக இருந்தது. 1980–81இல் நமக்குத் தேவைப்படும் சக்தி சுமார் 85·7 கோடி டன் நிலக்கரியிலிருந்து வெளிப்படும் சக்திக்குச் சமமாக இருக்கும். அதாவது 20 வருடங்களில் சக்தித்தேவை $3\frac{1}{2}$ மடங்காகப் பெருகிவிடும். இவ்வாறாக உலக முழுவதும் 'சக்திப்பசி' அதிகரித்து வரும் நிலையில், அணுசக்தி ஒரு வரப்பிரசாதமாகத் திகழ்கிறது. ஒரு பவுண்டு யுரேனியம்–235 பிளவுபடுவதால் வெளிப்படும் சக்தி சுமார், 1250 டன் நிலக்கரி எரிவதால் கிடைக்கும் சக்திக்குச் சமமாகும். இதனின்று அணுமின் நிலையங்களுக்குத் தேவைப்படும் யுரேனியம் போன்ற எரிபொருள்களின் அளவு மிகவும் குறைவு என்று தெரிகிறது அல்லவா? உலகில் கிடைக்கும் யுரேனியத்தையும் தோரியத்தையும் கொண்டு இன்னும் பல நூற்றாண்டுகளுக்கு, சக்திப் பற்றாக்குறையைத் தவிர்க்க முடியும். [இதற்குள்ளாக, சூரியன், கடலின் ஏற்றவற்றங்கள்[1] பலமான காற்றுவீச்சுக்கள் இவற்றில் உள்ள ஏராளமான சக்தியைப் பயன்படுத்தும் வழியை மனிதன் கண்டுபிடித்து விடலாம்.]

அணுமின்நிலையங்கள் நம் நாட்டிற்கு அவசியமா?

நம் நாட்டில் கிடைக்கும் நிலக்கரியின் அளவும் எண்ணெயின் அளவும் மிகக் குறைவு. அமெரிக்க நாட்டினர் இப்பொழுது பயன் படுத்தும் வீதத்தில் நாமும் சக்தியை உபயோகிக்கத் தொடங்கினால் இன்னும் சுமார் 30 ஆண்டுகளில், நம் நாட்டில் உள்ள இந்த எரிபொருள் கள் தீர்ந்துவிடும் என்று கருதப்படுகிறது. நீர்மின்நிலையங்களைக் கட்டு வதற்கு ஏற்ற நீர் வசதிகள் உள்ள இடங்களில் எல்லாம், 1985ஆம் வருடத்திற்குள்ளாகவே நீர்மின் நிலையங்கள் கட்டப்பட்டு விடும். இவற்றி

1. tides

லிருந்து பெறக்கூடிய சக்தி ஒரு வரம்பிற்கு உட்பட்டதாகையால் இவை, நம் சக்தி தேவையைப் பூர்த்தி செய்யப் போதுமானவை அல்ல. மேலும், கிடைக்கக்கூடிய நிலக்கரியையும், எண்ணெயையும், மின்சார உற்பத்திக்கு மாத்திரம் பயன்படுத்துவது விரும்பத்தக்கது அல்ல. ஏனெனில் அவை வேறு பல காரியங்களுக்கும் இன்றியமையாதன ஆகின்றன. உதாரணமாக, உலோகங்களை அவற்றின் தாதுப் பொருள்களிலிருந்து பிரித்தெடுக்க நிலக்கரியின் உபயோகம் அவசியம் ஆகின்றது. அதேபோல் ஆகாய விமானங்களுக்கு எண்ணெய் ஒன்றே எரிபொருளாகப் பயன்படுகிறது. ஆகவே மின்சார உற்பத்திக்கு அணுசக்தியைப் பயன்படுத்துவது மிகவும் அவசியமாகிறது. இன்னும் இருபதே ஆண்டுகளில் அணுசக்தியை விட்டால், நம் மின் சக்தித் தேவையைப் பூர்த்திசெய்ய வேறு வழியில்லை என்ற நிலைமை ஏற்படக்கூடும். இந்நிலைமை ஏற்படும் வரையில் காத்திராமல், இப்பொழுதே சில இடங்களில் அணுமின்நிலையங்களை நிறுவுவது ஆதாயமானது எனத் தெரியவருகிறது. உதாரணமாக, நிலக்கரிச் சுரங்கங்களிலிருந்து வெகு தொலைவில் இருக்கும் டில்லி, சென்னை, பம்பாய் போன்ற நகரங்களில் அணுமின்சக்தியே, அனல்மின்சக்தியை விட மலிவாக இருக்கும் எனக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது.

அதிர்ஷ்டவசமாக நம் நாட்டில் ஏராளமான தோரியமும், சிறிதளவேயானாலும், யுரேனியமும் கிடைக்கின்றன. இவற்றுள் யுரேனியம் எரிபொருளாகவும், தோரியம் வளப்பொருளாகவும் அணுஉலைகளில் பயன்படக் கூடியவையாதலால் அணுசக்தியைக்கொண்டு மின்சாரம் உற்பத்தி செய்வது நமக்கு அனுகூலமானது ஆகும்.

பொறியியற் பொருளாதாரம்[1]

ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் அனல்மின்நிலையத்தை நிறுவுவது லாபகரமானதா அல்லது அணுமின்நிலையத்தை நிறுவுவது லாபகரமானதா என்று எவ்வாறு நிர்ணயிப்பது? இதற்கு விஞ்ஞானத்தின் ஒரு பிரிவான பொறியியற் பொருளாதாரம் உதவுகிறது. இதன் உதவி கொண்டு மேற்கூறிய நிலையங்களிலிருந்து வெளிப்படும் மின்சக்தியின் 'உற்பத்திச் செலவைக்'[2] கணக்கிட முடிகிறது. எந்த நிலையத்தை நிறுவுவதால் மின்சக்தியின் உற்பத்திச் செலவு குறைவாக இருக்குமோ அந்த மின்நிலையமே தேர்ந்தெடுக்கப்படும்.

உற்பத்திச் செலவு என்று சொல்லும்பொழுது, மின்நிலையத்தைக் கட்டுவதற்கு ஆகும் செலவு, கட்டியபின் அதைப் பராமரிக்க ஆகும் செலவு, மேலும் எரிபொருளுக்கு ஆகும் செலவு எல்லாவற்றையுமே குறிப்பிட வேண்டும்.

---

1. engineering economics 2. generating cost

அணுமின்நிலையத்தைக் கட்டி முடிக்க ஆகும் செலவு மிகவும் அதிகம் ஆகும். ஆனால் கட்டிய பின்பு நிலையத்தைப் பராமரிக்க[1] ஆகும் செலவும், பயன்படுத்தப்படும் எரிபொருளுக்கு ஆகும் செலவும் மிகவும் குறைவானவை. நேர்மாறாக அனல்மின்நிலையத்தைக் கட்டுவதற்கு ஆகும் செலவு அதிகமன்று; ஆனால் பராமரிக்க ஆகும் செலவும், எரிபொருளுக்கு ஆகும் செலவும் மிகவும் அதிகம். ஆகவே இரண்டு மின் நிலையங்களையும் ஒப்பிட்டு, எது லாபகரமானது என்று நிர்ணயிப்பது அவ்வளவு எளிதன்று. முதலில் எளிதாகப் புரியும் ஓர் உதாரணத்தைப் பார்ப்போம்.

“டெரிலீன் சட்டை வாங்குவது சிக்கனமானதா? அல்லது பருத்திச் சட்டை வாங்குவது சிக்கனமானதா?” என்று உங்களிடம் கேட்டால் என்ன விடையளிப்பீர்கள்? டெரிலீன் சட்டை அடக்க விலை அதிகம், ஆனால் அதைச் சலவை செய்வதற்கு ஆகும் செலவு குறைவு. நேர் மாறாக, பருத்திச் சட்டையின் அடக்க விலை குறைவு; ஆனால் அதன் சலவைக்கு ஆகும் செலவு அதிகம். ஆகவே சலவைக் கூலி மிகவும் குறைவான இடங்களில் பருத்திச் சட்டை சிக்கனமானது என்றும் சலவைக் கூலி அதிகமாக உள்ள பம்பாய் போன்ற நகரங்களில் டெரிலீன் சட்டை சிக்கனமானது என்றும் முடிவு செய்யலாம்.

இது போன்று, நிலக்கரி முதலிய சாதாரண எரிபொருள்களின் விலை அதிகமாக உள்ள இடங்களில் அணுமின்நிலையங்கள் சிக்கன மானவை என்றும், அவை மலிவாகக் கிடைக்கும் இடங்களில் அனல் மின்நிலையங்கள் சிக்கனமானவை என்றும் பொதுவாகக் கூறலாம். சரியான முடிவிற்கு வர ஒரு யூனிட் மின்சாரம் உற்பத்தி செய்ய ஆகும் செலவைக் கணக்கிட வேண்டும்.

ஒரு யூனிட் மின்சாரத்தின் விலை

ஒரு யூனிட் மின்சாரத்தின் விலை அதை உற்பத்தி செய்ய ஆகும் செலவையும், வேண்டிய இடத்தில் அந்த மின்சாரத்தை விநியோகிக்க[2] ஆகும் செலவையும் கூட்டிவரும் தொகை ஆகும். ஒரு யூனிட் மின் சாரத்திற்கு ஆகும் உற்பத்திச் செலவை மூன்று பகுதிகளாலானதாகக் கருதலாம். முதற் பகுதி மின்நிலையத்தைக் கட்டி முடிக்க ஆகும் செலவைப் பொறுத்தது. இரண்டாம் பகுதி, நிலையத்தை இயக்கவும், பராமரிக்கவும் ஆகும் செலவுகளால் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. மூன்றாவது பகுதி எரிபொருள்களுக்கு ஆகும் செலவால் தீர்மானிக்கப்படுகிறது. இம்மூன்று பகுதிகளையும் கணக்கிட செலவினங்களின் விவரங்கள் தெரிய வேண்டும். அவற்றைப்பற்றி இப்பொழுது தெரிந்து கொள் வோம்.

---

1. for maintenance 2. to distribute

செலவுகளின் வகைகள்

மின்சார உற்பத்திக்கு ஆகும் செலவுகளைப் பொதுவாக இரு பெரும் பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம். அவையாவன: (i) நிலையான செலவுகள்[1] (ii) மாறும் செலவுகள்[2].

மின்நிலையத்திலிருந்து வெளிப்படும் திறனின் அளவைப் பொறுத்து மாறுபடும் செலவுகளை மாறும் செலவுகள் என்றும் அவ்வாறு மாறுபடாத செலவுகளை நிலையான செலவுகள் என்றும் கூறுவது வழக்கம்.

மாறும் செலவுகள் முக்கியமாக எரிபொருள்களின் விலை காரணமாக ஏற்படுபவை. ஏனெனில், நிலையத்திலிருந்து வெளிப்படும் திறன் எரிக்கப்படும் எரிபொருளின் அளவைப் பொறுத்தது.

நிலையான செலவுகள் இரு வகைப்படும். முதல் வகை முதலீட்டுச் செலவுகள்[3] ஆகும். இரண்டாம் வகை மின்நிலையத்தைச் செவ்வனே செயல்படச் செய்யவும்[4], பராமரிக்கவும்[5] ஆகும் பராமரிப்புச் செலவுகள்[6] ஆகும்.

முதலீட்டுச் செலவுகள் மின்நிலையத்தை நிறுவுவதற்காகச் செலவழிக்கப்பட்ட மூலதனத்தையே குறிக்கின்றன. இவ்வகையில் கீழ்க் கண்ட செலவுகள் இடம்பெறும்.

(i) நிலையம் உள்ள நிலத்திற்கான கிரயம். [நிலம் வாங்கப் படாமல், வாடகைக்கு எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டால், இந்த வாடகையை பராமரிப்புச் செலவினத்தில் சேர்க்க வேண்டும்.]

(ii) நிலத்தைச் சீர்படுத்தவும் செப்பனிடவும் ஆகும் செலவுகள்.

(iii) நிலையத்திற்கான கட்டிட வேலைகளுக்கு ஆகும் செலவுகள்.

(iv) நிலையத்தில் உபயோகப்படும் சாதனங்களுக்கும், கருவி களுக்கும் [எரிபொருளைத் தவிர்த்து] மற்ற எல்லாப் பொருள்களுக்கும் ஆகும் கிரயம்.

(v) நிலையம் நிறுவப்பட்டதிலிருந்து, அது சீராகச் செயல்படத் தொடங்கும் வரை செய்யப்படும் பற்பல சோதனைகளுக்காக ஆகும் செலவுகள்; மேலும் பணிபுரிவோர்க்கு அளிக்கப்படும் பயிற்சிக்கு ஆகும் செலவுகள்.

(vi) நிலையம் சீராகச் செயல்படத் துவங்கும் வரை முடக்கப்பட்ட மூலதனத்திற்குரிய வட்டி.

(vii) ஏனைய எதிர்பாராத செலவுகள்.

---

1. fixed costs 2. variable costs
3. capital costs 4. to operate 5. to maintain
6. operation and maintenance costs

நிலையான செலவுகளில் இரண்டாம் வகையான பராமரிப்புச் செலவுகளில் கீழ்க்கண்டவை அடங்கும்.

(i) நிலையத்தை எப்பொழுதும் சீராக இயங்கும் நிலையில் வைத்துக் கொள்வதற்காகச் செய்யப்படும் பராமரிப்பு 'வேலைகளுக்கும், அவ்வப் பொழுது பழுதடையும் பாகங்களைச் செப்பனிடுவதற்கும் ஆகும் செலவுகள்.

(ii) பணிபுரிவோர்க்கு அளிக்கப்படும் ஊதியம்.

(iii) வரிச் செலவுகள்.

(iv) இன்ஷ்யூரன்ஸ் செலவுகள்.

(v) நிலம் நிலையத்திற்குச் சொந்தமல்ல என்றால், அதற்காகக் கொடுக்கப்படும் வாடகை.

முதலீட்டுச் செலவுகள் ஒரு தடவையே ஏற்படுவன; பராமரிப்புச் செலவுகளும் மாறும் செலவுகளும் திரும்பத் திரும்ப ஏற்படுவன.

உற்பத்திச் செலவைக் கணக்கிடுதல்

உற்பத்திச் செலவின் ஒரு பகுதியான எரிபொருளுக்காகும் செலவை எளிதில் கணக்கிடலாம். எரிபொருளின் ஒரு குறிப்பிட்ட எடை ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு சக்தியையே கொடுக்கிறது. உதாரணமாக, ஒரு கிலோகிராம் நிலக்கரியை எரித்து சுமார் ஒரு யூனிட் மின்சக்தியை உற்பத்தி செய்யலாம். ஆகவே எரிபொருளின் விலை தெரிந்தால், ஒரு யூனிட் மின்சாரத்தின் உற்பத்திச் செலவில், எரிபொருளுக்காகும் பகுதியைக் கணக்கிடலாம். மேற்கூறிய நிலக்கரியின் அடக்க விலை கிலோகிராமுக்கு $2\frac{1}{2}$ பைசாவானால், ஒரு 'யூனிட்' மின்சார உற்பத்திச் செலவில், எரிபொருளுக்கான செலவு $2\frac{1}{2}$ பைசா.

இதேபோல், பராமரிப்புச் செலவுகள் காரணமாக ஆகும் உற்பத்திச் செலவின் பகுதியையும் கணக்கிடலாம். ஒரு வருடத்தில் ஆகும் மொத்த பராமரிப்புச் செலவு M ரூபாய்கள் என்றும், ஒரு வருடத்தில் உற்பத்தியான மின்சக்தி Q கிலோவாட் மணி [அல்லது யூனிட்டுகள்] என்றும் தெரிந்தால் உற்பத்திச் செலவின் இரண்டாவது பகுதி $= \frac{M}{Q} \times 100$ பைசா.

'Q'ஐப் பின்வருமாறு கணக்கிடலாம். மின்நிலையம் அதிகபட்சம் 'P' கிலோவாட் திறனை உற்பத்தி செய்யவல்லது என்போம். ஒரு வருடத்தில் $24 \times 365 = 8760$ மணிகள் உள்ளன. ஆகவே நிலையத்திலிருந்து ஒரு வருடத்தில் பெறக்கூடிய அதிகபட்ச மின்சக்தி $= P \times 8760$ யூனிட்டுகள்.

ஆனால் மின்நிலையம் பராமரிப்பு வேலைகளுக்காக சில நாட்கள் நிறுத்தி வைக்கப்படுவதாலும், மற்ற வேலை செய்யும் நாட்களிலும் சராசரியாக Pக்கு குறைவான கிலோவாட்டுகளையே, தேவைக்குத்

தக்கவாறு உற்பத்தி செய்வதாலும், ஒரு வருடத்தில் வெளிப்படும் சக்தி $P \times 8760$ யூனிட்டுகளை விடக் குறைவே. உள்ளபடி ஒரு வருடத்தில் உற்பத்தி செய்யப்பட்ட யூனிட்டுகளை, அதிகபட்சம் உற்பத்தி செய்யக்கூடிய $P \times 8760$ யூனிட்டுகளின் சதவிகிதமாகக் கூறுவது வழக்கம். இதற்கு நிலைய எண்[1] என்று பெயர். அணுமின் நிலையங்களுக்கு நிலைய எண்ணாக 75%ஐ எடுத்துக் கொள்ளலாம்.

எனவே $Q = P \times 8760 \times \frac{75}{100}$

உற்பத்திச் செலவின் கடைசிப் பகுதி முதலீட்டுச் செலவுகளின் காரணமாக ஏற்படுவது. முதலீட்டுச் செலவுகள் தெரிந்து இருந்தாலும், அதன் காரணமாக ஒரு 'யூனிட்' மின்சாரத்திற்கான உற்பத்திச் செலவைக் கணக்கிடுவது அவ்வளவு எளிதல்ல. ஏனெனில் முதலீட்டுச் செலவுகள் ஒரு தடவையே ஏற்படுவதால் இச் செலவை மின்நிலையத்தின் பயன்தருகாலம்[2] முடியும் வரை உற்பத்தியான மொத்த 'யூனிட்டு'களுக்கும் பகிர்ந்தளிக்கவேண்டும். பயன்தரு காலம் பல வருடங்களாக இருக்கும். முதலீட்டுச் செலவுகளுக்கான தொகையை, மின்நிலையம் கட்டுவதற்குப் பயன்படுத்தாமல், வட்டிக்கு விட்டிருந்தால் இந்தக் காலத்தில் அத்தொகை பெருகியிருக்கும். ஆகவே இவ்வாறு கிடைத்திருக்கக் கூடிய வட்டியையும் கணக்கிட்டு அந்தத் தொகையையும் உற்பத்திச் செலவில் சேர்த்துக்கொள்ள வேண்டும். பொதுவாக, பின்வருமாறு இவற்றைக் கணக்கிடலாம்.

அனல்மின்நிலையங்களின் பயன்தரு காலமாக 30 ஆண்டுகளிலிருந்து 35 ஆண்டுகள் வரையிலும் அணுமின்நிலையங்களின் பயன்தரு காலமாக 25 ஆண்டுகளிலிருந்து 30 ஆண்டுகள் வரையிலும் கொள்வது வழக்கம். உதாரணத்திற்காக மின்நிலையத்தின் பயன்தருகாலம் 25 ஆண்டுகள் எனக் கொள்வோம். மின்நிலையத்தைக் கட்டுவதற்காகச் செலவான மூலதனத்தை ஒரு 'பாங்கில்' போட்டு வைத்திருந்தால், 25 வருட காலங்களில் அம்மூலதனம் அசலும் வட்டியுமாக 'A' என்ற கூட்டுத் தொகையை அளித்திருக்கும் என்று கொள்வோம். இந்தத் தொகையை மின்சாரம் பயன்படுத்துவோரிடமிருந்து 25 வருட காலங்களில் பெறவேண்டும். அதாவது ஒவ்வொரு வருடமும் அவர்களிடமிருந்து பெறும் தொகையை பாங்கில் போட்டுக் கொண்டே வந்தால் 25 வருட கால முடிவில், பாங்கில் 'A' என்ற தொகை சேர்ந்திருக்க வேண்டும். இவ்வாறு ஒவ்வொரு வருடமும் பெறவேண்டிய தொகையை கணித உதவி கொண்டு கணக்கிடலாம். இத்தொகையை 'B' ரூபாய்கள் என்று குறிப்பிட்டால், 'B' என்பது முதலீட்டுச் செலவுகளின் காரணமாக ஆகும் ஒரு வருடத்திய உற்பத்திச் செலவைக் குறிக்கின்றது. முன் கூறியபடி Q யூனிட்டுகளை ஒரு வருடத்தில் உற்பத்தி

---

1. plant factor 2. plant life

செய்தால், ஒரு யூனிட்டுக்கு ஆகும் உற்பத்திச் செலவு [முதலீட்டுச் செலவுகள் காரணமாக]

$$= \frac{B}{Q} \times 100 \text{ பைசா}$$

இதுவரை கணக்கிட்ட மூன்று பகுதிகளையும் கூட்டினால் ஒரு யூனிட்டுக்கு ஆகும் மொத்த உற்பத்திச் செலவு கிடைக்கின்றது.

பீஹார், வங்காளம் ஆகிய ராஜ்யங்களிலுள்ள நிலக்கரிச் சுரங்கங்களிலிருந்து ஆயிரம் மைல்களுக்கும் மேலாக உள்ள டில்லி, பம்பாய், சென்னை போன்ற இடங்களுக்கு நிலக்கரியை எடுத்துச் செல்ல ஆகும் சுமைக் கூலியே அனல்மின் நிலையங்கள் இவ்விடங்களில் சிக்கனமற்றவையாக இருக்கக் காரணம் ஆகும். ஆகவே மற்றொரு விஷயத்தையும் சீர்தூக்கிப் பார்க்கவேண்டும். அது, நிலக்கரிச் சுரங்கங்களுக்கு அண்மையிலேயே அனல்மின் நிலையங்களை அமைத்து, பிறகு வேண்டிய இடங்களுக்கு மின்சாரத்தை மின் கம்பிகள் மூலம் செலுத்துவது. இவ்வாறு செய்யும் பொழுது அனல்மின் நிலையங்களில் ஆகும் உற்பத்திச் செலவு குறைவு எனினும், மின்சாரச் செலுத்துகை[1]க்கு ஆகும் செலவு அதிகம் ஆகும். ஏனெனில் விலையுயர்ந்த மின்கோபுரங்களும்[2] ஆயிரக் கணக்கான மைல் நீளம் கொண்ட மின்கம்பிகளும் மற்றும் பல மின்சார சாதனங்களும் தேவைப்படுகின்றன.

அணுமின்சக்தியின் உற்பத்திச் செலவைக் குறைக்கும் முறைகள்

அணுமின் நிலையத்தில் உபயோகிக்கப்படும் அணுஉலையின் வகையைப் பொறுத்து உற்பத்திச் செலவைக் குறைக்கக்கூடிய முறைகள் வேறுபடும். எனினும், பொதுவாகப் பின்வருவனவற்றைக் கூறலாம்.

(i) குறைந்த அளவு திறனைக் கொடுக்கும் சிறிய அணுஉலைகளுக்குப் பதிலாக அதிக அளவு திறனைக் கொடுக்கும் பெரிய அணுஉலைகளைத் திட்டமிடுதல்.

(ii) அதிக அளவு எரிவுக்கு உள்ளாகக் கூடிய எரிமூலகங்களை அமைத்தல்.

(iii) சிறந்த ஆற்றிகளைப் பயன்படுத்தி அதிக அளவு வெப்பத்தை வெளிப்படுத்துதல்.

(iv) பிரதம ஆற்றியின் உஷ்ண நிலையை அதிகரித்தல்.

(v) ஒரே நிலையத்தில், ஒன்றன்பின் ஒன்ருக, பல அணுஉலைகளைக் கட்டுதல்

---

1. transmission 2. transmission towers

இந்தியாவில் அணுமின் நிலையங்களின் எதிர்காலம்

காலக்கிரமத்தில், அணுமின் நிலையங்களைக் கட்டுவதில் அனுபவம் பெருகப் பெருக அணுமின்சக்தியின் உற்பத்திச் செலவும் குறையும். அதே சமயம் சாதாரண எரிபொருள்கள் விரைவாகத் தீர்ந்துகொண்டு வருவதால் அவற்றின் விலை உயர்ந்துகொண்டே சென்று அனல் மின் சக்தியின் உற்பத்திச் செலவு அதிகரிக்கும். இந்நிலையில் அணுமின் நிலையங்களே பெருவாரியாகக் கட்டப்படும்.

தற்பொழுது நம் நாட்டில் அணுமின் நிலையங்களைக் கட்டுவதில் உள்ள முக்கிய பிரச்னைகளாவன : (i) அணுமின் நிலையங்களுக்குத் தேவைப்படும் அதிகமான மூலதனத்தைத் திரட்டுவது இந்தியா போன்ற ஏழை நாடுகளுக்கு மிகவும் சிரமமான காரியமாகும். (ii) அணுமின் நிலையங்களுக்குத் தேவையான சாதனங்களையும் உப கரணங்களையும் நம் நாட்டிலேயே உற்பத்தி செய்யும் அளவிற்கு இன்னும் நம் நாட்டுத் தொழில்கள் முன்னேற்றம் அடையவில்லை.

இருந்த பொழுதிலும், கூடிய விரைவிலேயே இப்பிரச்னைகள் தீர்க்கப்பட்டு, பல அணுமின் நிலையங்கள் கட்டப்படும் என எதிர் பார்க்கப்படுகிறது. 1970க்குப் பிறகு வருட மொன்றுக்கு ஒரு அணுமின் நிலையம் வீதம் கட்டப்படும் என்று நம்பப்படுகின்றது. சலியாத உழைப்பினுலும் இடைவிடாத ஊக்கத்தாலும் ஆகாததும் உண்டோ?

REFERENCES

1. H. G. THUESEN AND W. J. FABRYCKY : "*Engineering Economy*" Prentice Hall, New Delhi.

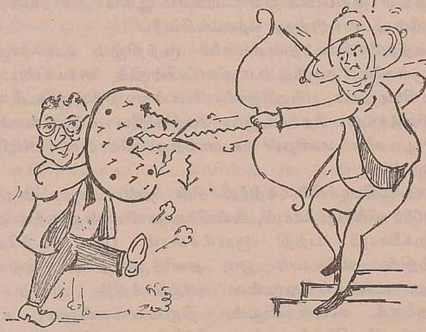
2. H. ETHERINGTON (ED): "*Nuclear Engineering Handbook*" : McGraw Hill, New York.

3. H. J. BHABHA AND M. DAYAL : "*World Energy Requirements and the Economics of Nuclear Power with Special Reference to Underdeveloped Countries*" Presented in the Third International Conference on the peaceful uses of Atomic Energy, United Nations, New York.

4. C. ALLARDICE "*Economic Nuclear Power Today*" International Bank for Reconstruction and Development, Washington D.C.

5. W. ISARD AND V. WHITNEY : "*Atomic Power - An Economic and Social Analysis*" W. Blakiston Co., Toronto.

6. S. H. SCHURR AND J. MARSCHAK : "*Economic Aspects of Atomic Power*" Princeton University Press, Princeton, New Jersey.



12. அணுக்கதிர்—தற்காப்பு[1]

[க. ச. வ. நம்பி, ல. வெ. கிருஷ்ணன், து. கிருஷ்ணன்]

இரண்டாவது உலகப்போர் இறுதியில் அணுகுண்டு வீச்சினால் ஜப்பான் தேசத்திற்கு நேர்ந்த அனுபவத்திற்குப் பின்னர், 'ஆக்க வேலைக்கு அணுசக்தி' என்ற முழக்கத்தைக் கேட்க நேரிடும் போதெல்லாம், அவ்வணுசக்தியோடு இணைந்த கதிர்வீச்சினால் உடலுக்கு நேரும் தீங்குகளும் நினைவில் எழாமல் இருப்பதில்லை. கதிர் வீச்சின் விளையூறுகளை[2] மனிதன் அறிந்து கொள்ள நேர்ந்ததே ஒரு சில சரித்திரப் பிரசித்தி பெற்ற சம்பவங்களால் தான். 19ஆம் நூற்றாண்டின் இறுதியில், ராண்ட்ஜன்[3] என்பவரால் எக்ஸ் கதிர்கள்[4] கண்டு பிடிக்கப்பட்ட பிறகு, ஒரு சில ஆண்டுகளுக்குள்ளாகவே, இக்கதிர்களை, மருத்துவத் துறையிலும் தொழில் துறையிலும் பயன்படுத்தத் தொடங்கினர்.

எக்ஸ் கதிர்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதற்கு மறு ஆண்டிலேயே பெக்கரல்[5] என்பவர், இயற்கையில் கிடைக்கும் சில பொருள்களில்

---

1. radiation protection
2. consequent hazards
3. Roentgen
4. x-rays
5. Becquerel

கதிரியக்கம் உண்டு என்று கண்டறிந்தார். இதைத் தொடர்ந்து க்யூரி அம்மையார்[1], பொலோனியம், ரேடியம் போன்ற கதிரியக்கப் பொருள்களைக் கண்டுபிடித்தார். இக்கதிரியக்கப் பொருள்களையும் தொழிற் துறையில் (குறிப்பாக ஒளிர்வர்ணம் பூசும்[2] துறையில்) பெருவாரியான அளவில் பயன்படுத்தத் தொடங்கினர்.

கதிர்வீச்சின் தன்மைகளை முற்றிலும் உணராது, கதிரியக்கப் பொருள்களை, தகுந்த பாதுகாப்பின்றிக் கையாண்டவர்களுள் பலர் சருமவியாதிகள், புற்றுநோய், போன்றவற்றிற்கு உள்ளாயினர். சிலர் உயிரிழக்கவும் நேரிட்டது. மேற்கூறிய சம்பவங்கள், கதிர்வீச்சின் விளையூறுகளை மனிதன் உணர்ந்து கொள்ள அடிகோலின எனக் கூறலாம்.

காலப்போக்கில் கதிர்வீச்சின் தன்மையும், அதனால் உடலுக்கு ஏற்படும் விளைவுகளையும், இவ்விளைவுகளினின்று தற்காத்துக் கொள்ளும் முறைகளையும் பற்றி ஆராய்ச்சிகள் பல மேற்கொள்ளப்பட்டன. இவற்றின் விளைவாக ஒரு தனித்துறையே[3] ஏற்படுத்தப்பட்டது. இன்று உலகெங்கிலுமுள்ள அணுசக்தித் துறை சம்பந்தப்பட்ட சோதனைக் கூடங்களிலும், நிறுவனங்களிலும், கதிர்வீச்சினின்று தற்காத்துக் கொள்வதற்கான விதிமுறைகளை அமுலாக்குவதற்கென தனித்தனிக் குழுக்கள் இயங்கி வருகின்றன. இக் 'கதிர்வீச்சுத் தற்காப்புத்'[4] துறையைப்பற்றி இவ்வத்தியாயத்தில் விரிவாகக் காண்போம்.

கதிர்வீச்சினால் விளையும் தீங்குகள்

அணுக்கதிர்களால் உயிரினங்களுக்கு ஏற்படும் விளைவுகளை இரு கூறுகப் பிரிக்கலாம். அவையாவன:

(a) தனக்குறு விளைவுகள்[5]: அணுக்கதிர்களுக்கு உட்பட்ட ஒருவனுக்கு ஏற்படும் விளைவுகளில், அவனை மட்டுமே பாதிக்கக் கூடிய விளைவுகளை, 'தனக்குறு விளைவுகள்' என்கிறார்கள். இவை ஸெல்களின்[6] அழிவால் ஏற்படுபவை. உடலுறுப்புக்களின் வளர்ச்சிக்கும் நலத்திற்கும் தேவையான சக்தியும், முக்கிய ரசாயனப் பொருள்களும், இந்த ஸெல்களில் நிகழும் ரசாயனக் கிரியைகளினால் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. ஸெல்களின் மீது அணுக்கதிர்கள் படும்போது, கதிர்களின் சக்தியானது, 'அயனித்தல்'[7] மூலமாக ஸெல்களுக்கு மாற்றப்படுகிறது. இதன் காரணமாக, ஸெல்களிலுள்ள ரசாயனப் பொருள்கள் மாற்றமடைவது மட்டுமின்றி, அவற்றில் தொடர்ந்து நடைபெற்று வரும்

1. Madame Curie
2. luminous painting
3. இத்துறை ஆங்கிலத்தில் Health Physics எனப்படுகிறது.
4. radiation protection
5. somatic effects
6. cells
7. ionization

ரசாயனக் கிரியைகளும் தடைபடுகின்றன. எனவே ஸெல்கள் மடிகின்றன. சாதாரணமாக, ஸெல்கள் மடியும்போது, அவற்றிற்குப் பதிலாக பல புதிய ஸெல்கள் தோன்றி, சம்பந்தப்பட்ட உறுப்புக்களின் வளர்ச்சியும், நலனும் பாதிக்கப்படாமல் பாதுகாக்கின்றன. இவ்வித இயற்கை வைத்தியம் ஒரு குறிப்பிட்ட வரம்பு வரைதான் நடைபெற முடியும். இவ்வரம்பிற்கு மீறி ஸெல்கள் அழிக்கப்படுமேயானுல், சம்பந்தப்பட்ட உறுப்புக்கள் நிரந்தரமாகப் பாதிக்கப்படுகின்றன.

இவ்வாறு ஏற்படும் தனக்குறு விளைவுகளில் சில, மனிதன் கதிர் வீச்சிற்கு உட்பட்ட சிறிது காலத்திற்குள்ளேயே தோன்றி விடுகின்றன. இவற்றை, கதிர்வீச்சின் உடனடி விளைவுகள்[1] என்கிருர்கள். மற்றும் சில விளைவுகள் கதிர்வீச்சுக்குட்பட்டதினின்று பல ஆண்டுகள் கழிந்த பிறகே தலையெடுக்கின்றன. இவற்றை, கதிர்வீச்சின் தாமத விளைவுகள்[2] என்பர். இவற்றிற்குச் சில உதாரணங்களை அட்டவணை 12–1இல் காண்க.

(b) சந்ததி விளைவுகள்[3]: இவை, அணுக்கதிர்களால் தாக்கப்பட்ட உயிரினங்களின் சந்ததிகளைப் பாதிப்பனவாகும். உயிரினங்களில் அமைந்துள்ள பலவகைப்பட்ட குணங்களுக்கு[4] ஆதாரமாக விளங்குவது இனவிருத்தி ஸெல்கள்[5] ஆகும். இந்த ஸெல்களில் பண்பகத்திரி[6] என்ற நுண்ணிய பொருள்கள் பல காணப்படுகின்றன. ஓர் உயிரிடத்தில் காணப்படும் பண்பகத்திரிகள் அதன் பெற்ருேரிடமிருந்து பெறப்பட்டவையே ஆகும். எனவே தான், பெற்ருேரிடம் காணப்படும் ஒரு சில குறிப்பிட்ட குணுதிசயங்கள் அவர்களது சந்ததியாரிடமும் காணப்படுகின்றன. ஒவ்வொரு பண்பகத்திரியும் பண்பகங்கள்[7] எனப்படும் மூலக்கூறுகள் பலவற்ருல் ஒரு குறிப்பிட்ட வரிசைப்படி சேர்க்கப்பட்டதாகும். ஒவ்வொரு பண்பகமும் ஒரு குறிப்பிட்ட குணத்தைக் குறிக்கிறது. அணுக்கதிர்களால் தாக்கப்படும்போது பண்பகங்கள் சில பாதிக்கப்படுகின்றன. இதன் காரணமாக புதிய தலைமுறையில் தோன்றும் உயிர்களின் உறுப்புக்கள் பல பாதிக்கப்படலாம்; குணங்களும் மாறுபடலாம். இதர ஸெல்களைப் போலல்லாமல் சேதமடைந்த இனவிருத்தி ஸெல்களைச் சீர்படுத்த இயலாது. எனவே தான், எவ்வளவு குறைவான அளவு அணுக்கதிர்களால் தாக்கப்பட்டாலும், இனவிருத்தி ஸெல்களில் ஒரு சிறிதளவாவது சேதம் ஏற்படத்தான் செய்கிறது. இந்தச் சேதம் நிரந்தரமானதும் கூட.

கதிர்வீச்சின் இரண்டு வகை விளைவுகளையும் அட்டவணை 12–1 விளக்குகிறது.

---

1. immediate effects 2. delayed effects
3. genetic effects 4. traits 5. reproductive cells
6. chromosome 7. genes

அட்டவணை 12-1

கதிர்வீச்சால் ஏற்படும் விளைவுகள்

தனக்குறு விளைவுகள்		சந்ததி விளைவுகள்
உடனடி விளைவுகள்	தாமத விளைவுகள்	
1. தோல் சிவத்தல்	1. புற்றுநோய் தூண்டல்	1. மந்தபுத்தி
2. தோல் புண் (எரிதிமா)[2]	2. கழலைகள் ஏற்படல்	2. ஹெமோஃபிலியா[1] என்ற ரத்தம் உறையாத தன்மையுள்ள நோய்
3. ரத்தத்தில் வெள்ளணு எண்ணிக்கை மாறல்	3. லுகிமியா[3]	3. குள்ளத்தனம்[4]
	4. ஆயுட்காலம் குறைதல்	
	முதலியன	முதலியன

இன்று அணுக்கதிர்கள் சம்பந்தப்பட்ட துறையில் பணிபுரிவோர் பலர். இவர்களுக்கு அணுக்கதிர்களினால் இருவழிகளில் தீங்குகள் நேரலாம். (i) சுற்றுப் புறங்களிலுள்ள கதிரியக்கப் பொருள்கள் வீசும் அணுக்கதிர்களால் விளையும் தீங்குகள்[5] (ii) வாயு, திரவ நிலைகளிலுள்ள கதிரியக்கப் பொருள்கள் உடலில் உட்கொள்ளப்படுவதால் நேரும் தீங்குகள்.[6]

சில முக்கிய அலகுகள்

மேற்கூறப்பட்ட கதிர்வீச்சு விளைவுகளிலிருந்து தற்காத்துக் கொள்வது அவசியமாகிறது என்பது கண்கூடு. பாதுகாப்பு முறைகளை நன்கு பயன்படுத்தக் கூடிய வகையில் விதிகளை வகுப்பதற்கு, ‘கதிர்வீச்சு அலகுகள்’[7] சிலவற்றை வரையறுத்துள்ளனர்.

க்யூரி[8] : இது கதிரியக்கத்தை அளப்பதற்குப் பயன்படும் ஓர் அடிப்படை அலகு ஆகும். ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு கதிரியக்கப் பொருளில், வினாடிக்கு 3700 கோடி அணுக்கள் ($3{\cdot}7 \times 10^{10}$ அணுக்கள்) வீதம் கதிரியக்கச் சிதைவு நடைபெறுமானால், அந்த அளவே ஒரு ‘க்யூரி’ ஆகும். உதாரணமாக, ஒரு கிராம் எடையுள்ள ரேடியத்தில் வினாடிக்கு 3700 கோடி அணுக்கள் கதிரியக்கத்தால் சிதைவுறுகின்றன. எனவே, ஒரு கிராம் ரேடியத்தை ஒரு க்யூரி கதிரியக்கம் கொண்டதாகக் கருதுகிறோம்.

---

1. haemophilia 2. erythema 3. leukemia
4. dwarfism 5. external hazards
6. internal hazards 7. radiation units 8. curie

அரை ஆயுட்காலம்[1] : கதிரியக்கச் சிதைவின் காரணமாக ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுள்ள பொருளில் கதிரியக்க அணுக்களின் எண்ணிக்கை குறைந்து கொண்டே வருகிறது. எந்த ஒரு சமயத்திலும் கதிரியக்கச் சிதைவில் ஈடுபடும் அணுக்களின் எண்ணிக்கை, சம்பந்தப் பட்ட கதிரியக்கப் பொருளில் உள்ள கதிரியக்க அணுக்களின் மொத்த எண்ணிக்கையைப் பொறுத்தது ஆகும். எனவே, காலம் செல்லச் செல்ல, அந்தப் பொருளில், கதிரியக்கச் சிதைவில் ஈடுபடும் அணுக் களின் எண்ணிக்கையும் குறைந்து கொண்டே வருகிறது. இந்த எண்ணிக்கை படிப்படியாகக் குறைந்து, முன்னிருந்ததில் சரிபாதி யாகக் குறைவதற்கு எடுத்துக் கொள்ளப்படும் காலமே அரை ஆயுட் காலம் ஆகும்.

உதாரணமாக, ரேடியத்தின் அரை ஆயுட்காலம் (அ. ஆ. கா.) சுமார் 1600 ஆண்டுகள் எனக் கணக்கிடப்பட்டிருக்கிறது. எனவே இன்று ஒரு க்யூரி ரேடியத்தை எடுத்துக்கொண்டால், அதுவே 1600 ஆண்டுகளுக்குப் பின்னர் அரை க்யூரி ரேடியமாகக் குறைந்திருக்கும்.

இன்று நமக்குத் தெரிந்துள்ள பல நூற்றுக்கணக்கான கதிரியக்கப் பொருள்களின் அரை ஆயுட்காலம் ஒரு சில மைக்ரோ செகண்டுகளி லிருந்து[2] (1 மைக்ரோசெகண்டு $= \frac{1}{10^6}$ செகண்டு) பல்லாயிரக் கணக் கான ஆண்டுகள் வரை வேறுபடுகின்றன.

ராண்ட்ஜன்[3] : அணுக்கதிர்கள் ஒரு பொருளை ஊடுருவிச் செல்லும்போது, அயனித்தல் மூலமாகத் தோன்றும் அயனி-இரட்டை களின்[4] எண்ணிக்கை, அணுக்கதிர்வீச்சின் அளவைப் பொறுத்த தாகும். எனவே இவ்விதம் தோற்றுவிக்கப்பட்ட அயனி-இரட்டை களின் மொத்த மின்னேற்றத்தைத் தெரிந்து கொள்வதன் மூலம் அணுக்கதிர்வீச்சின் அளவையும் தெரிந்து கொள்ளலாம். ஒரு கன சென்டி மீட்டர் பரிமாணமுள்ள காற்றை ஊடுருவும்போது ஒரு 'நிலை மின்னலகு மின்னேற்றத்தை'[5] ஏற்படுத்தப் போதுமான அயனி-இரட்டைகளைத் தோற்றுவிக்கும் கதிர்வீச்சளவையே ஒரு 'ராண்ட்ஜன்' எனக் குறிப்பிடுகிறோம்.

காற்றில் ஓர் அயனி-இரட்டையைத் தோற்றுவிக்கத் தேவையான சக்தியானது சுமார் 34·0 எலக்ட்ரான் வோல்ட் என்றும், ஒரு நிலை மின்னலகு மின்னேற்றத்தைப் பெற $2{\cdot}06 \times 10^9$ அயனி இரட்டைகள் தேவை என்றும் அறியப்பட்டுள்ளது. இவற்றைக் கொண்டு கணக்கிட் டுப் பார்த்தால், ஒரு கிராம் எடையுள்ள காற்றில் ஒரு ராண்ட்ஜன் அளவு கதிர்வீச்சு ஊடுருவும்போது 8/·7 எர்குக்குச் சமமான சக்தி உட்கவரப் படுகிறது என்று அறியலாம்; இதுவே ஒரு கிராம் எடையுள்ள திசுவை

---

1. half life 2. microsecond 3. roentgen
4. ion pairs 5. electrostatic unit of charge

ஊடுருவும்போது, 98 எர்குக்குச் சமமான சக்தி திசுக்களில் உட்கவரப் படுகிறது.

ரேடு[1] : ஒரு கிராம் திணிவுள்ள எந்தப் பொருளையும் அணுக் கதிர்கள் ஊடுருவும்போது கிரகிக்கப்படும் சக்தியானது 100 எர்குக்குச் சமமானுல், அவ்வாறு கிரகிக்கப்பட்ட அணுக்கதிர்களின் அளவு ஒரு 'ரேடு' எனப்படும். இதனையே, ஒரு ரேடு அளவு உட்கவரப்பட்ட டோஸ்[2]* என்று குறிப்பிடுகிருர்கள்.

ஒப்பு திசுச்சேத எண்[3] : அணுக்கதிர்களினுல் திசுக்களில் விளையும் சேதமானது, கிரகிக்கப்பட்ட கதிர் டோஸை மாத்திர மின்றி, கதிர்களின் தன்மையையும் பொறுத்திருக்கிறது. உதாரண மாக, ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு ஆல்ஃபா டோஸ் மூலமாகத் திசுக்களுக்கு விளையும் சேதமானது, அதே அளவு எக்ஸ் அல்லது காமாக் கதிர்களின் டோஸ் மூலமாக அதே திசுக்களில் விளையும் சேதத்தைவிடப் பத்து மடங்காகும். இது போலவே, வெப்ப நியூட்ரான் களால் விளையும் சேதம், அதே அளவு காமா டோஸ் விளைவிக்கும் சேதத்தைவிட மூன்று மடங்காகும். இதனையே காமா அல்லது எக்ஸ் கதிர்களின் ஒப்புத் திசுச்சேத எண் 1 என்றும், ஆல்ஃபாத் துகள்களுக்கு அவ்வெண் 10 என்றும், வெப்ப நியூட்ரான்களுக்கு 3 என்றும் குறிப்பிடு கிருர்கள்.

$$\text{ஒப்புத் திசுச்சேத எண்} = \frac{\text{(திசுக்களில் ஒரு குறிப்பிட்ட சேதத்தை விளை விக்கத் தேவையான எக்ஸ் கதிர் டோஸ்)}}{\text{(திசுக்களில் அதே சேதத்தை விளைவிக்கத் தேவையான பிற கதிர்வீச்சின் டோஸ்)}}$$

ரெம்[4] : இவ்விதத் திசுச்சேத எண் வேறுபாட்டின் காரணமாக, ரெம் என்ற ஒரு தனி அலகு ஏற்படுத்தப் பட்டிருக்கிறது. ரெம் டோஸானது ரேடு டோஸையும், சம்பந்தப்பட்ட அணுக்கதிர்களின் ஒப்புத் திசுச்சேத எண்ணையும் பெருக்கி வந்த தொகைக்குச் சமமாகும். எனவே, காமா அல்லது எக்ஸ் கதிர்களைப் பொறுத்தமட்டில் ரேடு டோஸும், ரெம் டோஸும் அளவில் ஒன்றுக்கொன்று சமம் என்பது தெளிவு. பிற வகைக் கதிர் வீச்சுகளுக்கெல்லாம் ரெம் டோஸானது ரேடு டோஸை விட அதிகம் என்பதும் விளங்கும்.

மனித உடலிலும், சுற்றுப்புறங்களிலும் இயற்கையாகவே அமைந்துள்ள கதிரியக்கப் பொருள்கள் : அண்டக்கதிர்கள்[5] எப் பொழுதும் பூமியைத் தாக்கிக் கொண்டேயிருப்பதாலும், பூமியிலுள்ள

---

* டோஸ் (Dose) என்ற சொல் 'அளவு' என்பதைக் குறிக்கிறது. உதாரண ஒரு ராண்ட்ஜன் அளவுள்ள கதிர்வீச்சு திசுக்களில் படுமானுல், திசுக்களில் கதிர் வீச்சு டோஸ் ஒரு ராண்ட்ஜன் என்று கூறுகிறேம்.

1. rad 2. dose 3. relative biological effectiveness (or efficiency) 4. rem 5. cosmic rays

பல்வேறு பாறைகளிலும் தாதுமண்களிலும் உள்ள கதிரியக்கப் பொருள் களிலிருந்து அணுக்கதிர்கள் வெளிப்பட்டுக் கொண்டேயிருப்பதாலும், இவ்வுலகிலுள்ள சகல ஜீவராசிகளுமே எப்போதும் ஓரளவாவது கதிர் வீச்சைப் பெற்றுக்கொண்டே இருக்கின்றன. இது தவிர, உடலிலுள்ள கார்பன்–14, பொட்டாசியம்–40 முதலிய சில கதிரியக்கப் பொருள்கள் வீசும் அணுக்கதிர்களாலும் இவை தாக்கப்பட்டுக் கொண்டே யிருக்கின்றன. அட்டவணை 12–2 ஒரு மனிதன் ஒரு வருடத்தில் மேற்கூறப்பட்டவைக்கு உட்பட்டுப் பெறுகிற அணுக்கதிர் டோஸ் களைக் குறிக்கிறது.

அட்டவணை 12–2

இயற்கைச் சூழ்நிலை அணுக்கதிர்களால் ஒரு வருடத்தில் கிடைக்கும் டோஸ் (மில்லி ராண்ட்ஜன்)

இடத்தின் உயரம்	கருங்கல் பாறை		படிவப் பாறை[1]		கடற்பரப்பு	
	பூமத்திய ரேகை	55° வடக்கு அட்ச ரேகை	பூமத்திய ரேகை	55° வடக்கு அட்ச ரேகை	பூமத்திய ரேகை	55° வடக்கு அட்ச ரேகை
கடல் மட்டம்	143	147	76	80	53	57
5,000 அடி	150	170	83	103	—	—
20,000 அடி	414	560	347	493	—	—

அட்டவணை 12–3

உடலில் இயற்கையாகவே அமைந்துள்ள கதிரியக்கப் பொருள்களால் ஒரு வருடத்தில் கிடைக்கும் டோஸ் (மில்லி ராண்ட்ஜன்)

கதிரியக்கப் பொருள்	டோஸ் (மில்லி ராண்ட்ஜன்/வருடம்)
கார்பன் –14	1·5
பொட்டாசியம் –40	19

1. igneous rocks

சர்வதேசக் கதிர்வீச்சுத் தற்காப்புக் குழு[1]வினரின் அறிக்கை

இவ்விதமாக, நாம் இயற்கையாகவே பெற்று வருகின்ற அணுக் கதிர் டோஸ், நம் உடலுக்குத் தீங்கு விளைவிப்பதா என்பது திட்ட வட்டமாக இதுவரை அறியப்படவில்லை. அது எவ்வாருயினும் இவ்வியற்கைக் கதிர்வீச்சுக்கு அறவே உள்ளாகாமல் நம்மைத் தற்காத்துக் கொள்ளுதல் சாத்தியமானதல்ல என்பது மட்டும் தெளிவு. எனினும் செயற்கை முறையில் நாம் உண்டாக்கி உப யோகித்து வரும் கதிரியக்கப் பொருள்களின் தீங்கினின்று தக்க பாது காப்பு முறைகளால் நம்மைத் தற்காத்துக் கொள்ள முடியும். அப்படி யாயின் அணுக்கதிர்கள் எந்த அளவிற்கு மேற்படாதவாறு தற்காப்பு முறைகளை நாம் கையாளவேண்டும் என்ற வினவும் உடன் எழுகிறது. இதனை ஆராய்ந்து நிர்ணயிப்பதற்காகவே சர்வதேசக் கதிர்வீச்சுத் தற்காப்புக் குழு ஒன்று நியமனம் செய்யப்பட்டது. இந்தக் குழு விடுத்த அறிக்கையின் சாராம்சம் பின்வருமாறு :

"அணுக்கதிர்கள் சம்பந்தப்பட்ட துறைகளில் பணிபுரிவோர்[2] மொத்த ஜனத்தொகையில் ஒரு சிறு பகுதியினரே ஆவர். இவர்கள், தங்கள் ஆயுட்காலத்தில், தாங்கள் ஈடுபட்டுள்ள வேலையின் காரணமாக, மற்றப் பெரும்பான்மை மக்களை விட அதிக அளவு கதிர்வீச்சுக்கு உள்ளாகின்றனர். கதிர்வீச்சினுல் விளையும் விளைவுகளில் லுகிமியா[3] அல்லது வெள்ளணுப் புற்றுநோய், ஆயுட்காலம் குறைபடுதல்[4] இவை முக்கியமானவையாகும். இவ்விரண்டும், திசுக்கள் வெகுகால மாகத் தொடர்ந்து தாக்கப்பட்டால் குறைந்த அளவு கதிர் வீச்சினுலும், உண்டாகக்கூடியவை. கதிர்வீச்சை அளவில் வெகுவாகக் குறைப் பதன்மூலம், லுகிமியா ஏற்படுவதைத் தடுக்கமுடியும் என்று நம்பப் படுகிறது. ஆனுல் இது ஆயுட்காலம் குறைவதைப் பொறுத்தமட்டில் உண்மையல்ல. எவ்வளவு சிறிய கதிர்வீச்சளவிற்கும், ஒரு சிறிதளவா வது, ஆயுட்காலம் குறைந்தே தீரும். ஆகவே, நிர்ணயிக்கப்படும் உச்சவரம்புக் கதிர்வீச்சளவானது[5] ஒருவனுடைய ஆயுட்காலத்தை வெகுவாகப் பாதிக்காமலும், அதே சமயத்தில் லுகிமியாவைத் தோற்று விக்காமலும் இருக்கவேண்டும். எனவே இந்த அளவை ஒரு வாரத் திற்கோ அல்லது ஒரு மாதத்திற்கோ இவ்வளவு டோஸ் என்று வரம்பி டாமல், ஒருவன் 'பணிபுரியும் காலம்'[6] முழுமைக்கும் ஏற்றுக்கொள்ளக் கூடிய டோஸ் இவ்வளவு என்று வரம்பு இடுவதே சிறந்ததாகும்."

இம்முறையிலேதான் உச்சவரம்புக் கதிர்வீச்சளவை, 50 வருடங் களில் ஏற்றுக்கொள்ளக்கூடிய டோஸ் 250 ரெம் என நிர்ணயித்திருக் கிருர்கள். அணுத்துறைப் பணியில் ஈடுபடுபவர் பெறுகிற டோஸ்களை

---

1. International Commission on Radiological Protection (I. C. R. P.) 2. occupational workers 3. leukemia
4. reduction in life span 5. maximum permissible radiation dose
6. occupational period

அவ்வப்போது கட்டுப்படுத்துவதற்காக, மேற்கூறப்பட்ட உச்சவரம்பு அளவையே ஒரு வாரத்திற்கு 100 மில்லி ரெம் என்றும், ஒரு வருடத்திற்கு 5 ரெம் என்றும், ஒரு குறிப்பிட்ட வயதில் (N வருடங்கள்) ஒரு மனிதன் அவ்வயதுவரை பெறக்கூடிய டோஸ் D ரெம்மானது,

$$D=5\,(N-18)$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கப்படுகிறது என்றும் கணக்கிட்டு நடைமுறையில் இந்த உச்சவரம்பளவு கதிர்வீச்சு டோஸை அமுலாக்கியிருக்கின்றனர்.

அணுத்துறையில் பணிபுரிவோராகிய சிறுபான்மையினர் அவ்வப்போது பெறக்கூடிய கதிர்வீச்சளவை உடனுக்குடனே அறிந்து கணக்கிடக்கூடுமாதலாலும், இத்தகைய ஒரு கண்காணிப்பு மற்ற பெரும்பான்மையினர் மீது வைத்துக் கொள்வது நடைமுறையில் சாத்தியமில்லையாதலாலும், பிற்கூறப்பட்டவர்களுக்கு, முன்னவருக்கு நிர்ணயிக்கப்பட்ட உச்சவரம்பில் பத்தில் ஒரு பங்கையே உச்சவரம்புக் கதிர்வீச்சளவாக சிபாரிசு செய்யப்பட்டுள்ளது.

சந்ததி விளைவானது கதிர்வீச்சு டோஸைப் பெற்றவரின் சந்ததிகளில்தான் தோன்றக்கூடியது. சாதாரணமாக ஒரு மனிதனின் வாழ்நாளில் இனவிருத்தி நிகழக்கூடிய வயது[1] சராசரி முப்பது ஆண்டுகள் எனக் கணக்கிடப்பட்டிருக்கிறது. எனவே இந்த முப்பது ஆண்டுகளில் ஒரு மனிதன் பெறும் கதிர்வீச்சே, அவனது சந்ததிகளைப் பாதிப்பதாகும். இங்ஙனம் சந்ததி விளைவால் ஏற்படும் சேதமானது ஒரு 'ஏற்றுக்கொள்ளக்கூடிய வரம்பிற்கு'[2] உட்பட்டதாக இருக்குமேயானல் அந்த முப்பது ஆண்டுகளில் அம்மனிதனல் ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்ட கதிர்வீச்சளவே, உச்சவரம்பு அளவு ஆகும். சராசரியாகக் கணக்கிட்டுப் பார்க்கும்போது, ஜனத்தொகையிலுள்ள எந்த ஒரு நபராலும் பெறக்கூடிய மொத்தக் கதிர்வீச்சளவானது இந்த உச்சவரம்பை மீருமல் இருத்தல் வேண்டும். ஒரு மனிதன் தன் வாழ்நாள் முழுவதிலும் பெறக்கூடிய மொத்த டோஸான இந்த உச்சவரம்பை 5 ரெம் என்று நிர்ணயித்திருக்கிருர்கள்.*

சுவாசிக்கும் காற்றின் மூலமாகவோ, உண்ணும் உணவுப் பொருள்களின் மூலமாகவோ, உடலால் உட்கொள்ளப்படும் கதிரியக்கப் பொருள்கள், தங்கள் பௌதிக, ரசாயனத் தன்மைகளுக்கு ஏற்ப, உடலின் பல்வேறு பாகங்களை அடைகின்றன. இங்கிருந்து அவை உடலினுள் நடைபெறும் வளர்சிதை மாற்றம்[3] காரணமாக, சிறிது சிறிதாகக் காலப்போக்கில் அகற்றப்படுகின்றன. இவ்வாறு உடலியல் கிரியைகளால் மட்டுமே ஓர் உறுப்பிலுள்ள கதிரியக்கப் பொருள், தன்னில் சரிபாதி

* இந்த வரம்பு அணுத்துறையில் பணிபுரிவோர் தவிர மற்றையப் பொது மக்கள் அனைவருக்கும் பொருந்தும்.

1. mean age of child bearing
2. acceptable limit
3. metabolism

யாகக் குறைவதற்கு எடுத்துக்கொள்ளும் கால அளவே உயிரியக்க அரை ஆயுட்காலம்[1] ஆகும். மேலும் கதிரியக்கச் சிதைவு காரண மாகவும், அப்பொருள்களின் கதிரியக்க அளவு குறைந்துகொண்டே வருகிறது. ஆகவே ஒரு உடலுறுப்பிலுள்ள கதிரியக்கப் பொருளின் கதிரியக்க அளவு குறையும் வேகமானது, அப்பொருளின் கதிரியக்க அரை ஆயுட்காலம், உயிரியக்க அரை ஆயுட்காலம் ஆகிய இரண்டை யும் பொறுத்திருக்கிறது. அவ்வுறுப்பில் எந்தச் சமயத்திலும் தேங்கி யிருக்கிற பொருள் கதிரியக்க அளவை இவ்விரு அரை ஆயுட்காலங் களின் மூலமாகத் தெரிந்துகொள்ள இயலும். பொதுவாக, இவ்விதம் தேங்கக்கூடிய கதிரியக்கப் பொருள்களால் எந்த உறுப்பு அதிகச் சேத மடைகிறதோ, அதனையே அக்கதிரியக்கப் பொருளின் முக்கியச் சேத உறுப்பு[2] என்கிறோம். உதாரணமாக ரேடியத்திற்கு எலும்பும், யுரேனியத்திற்குச் சிறுநீரகமும், முக்கியச் சேத உறுப்புகளாகும்.

அணுக்கதிர்த் துறையில் ஈடுபட்டுள்ளவர்களின் உடலில், அவர்கள் வேலையின் இயல்பு காரணமாக, அவ்வப்போது கதிரியக்கப் பொருள்கள் உட்செல்ல வாய்ப்புக்கள் இருப்பதனால், பணிபுரியும் கால முடிவில், அவர்களது உடலில் தேங்கியிருக்கக்கூடிய பொருள்களின் கதிரியக்க அளவையும் ஒரு வரம்பிற்குட்படுத்துவது அவசியமாகிறது. இந்த உச்சவரம்பளவானது, ஒருவரது ஆயுட்காலத்தில், ஏற்றுக்கொள்ளக் கூடாத அளவு உறுப்புச் சேதத்தை விளைவிக்காமல் இருக்கவேண்டும். இந்த அளவை உச்சவரம்பு கதிரியக்கச் சுமை[3] என்று குறிப்பிடலாம். ஒவ்வொரு கதிரியக்கப் பொருளிற்கும் கொடுக்கப் பட்டுள்ள உச்சவரம்பு கதிரியக்கச் சுமையினின்று, நாம் சுவாசிக்கும் காற்று, குடிக்கும் நீர் முதலியவைகளில் கலக்கக்கூடிய கதிரியக்கப் பொருள்களுக்கும் ஓர் உச்சவரம்பளவை[4] நிர்ணயிக்க முடியும்.* இந்த அளவில் கலந்துள்ள கதிரியக்கப் பொருள்களை காற்றின் மூலமாகவோ, நீரின் மூலமாகவோ, ஒரு மனிதன், தன் வாழ்நாள் முழுவதும் உட் கொண்டாலும்கூட அவன் உடலில் தேங்கக்கூடிய கதிரியக்கப் பொரு ளின் சராசரி அளவானது, முன்கூறப்பட்ட உச்சவரம்பு உடற் கதிரியக்கச் சுமை அளவை மீறுது.

அட்டவணை 12–4 இல், சில முக்கியக் கதிரியக்கப் பொருள் களுக்கு நிர்ணயிக்கப்பட்டுள்ள உச்சவரம்பு உடற் கதிரியக்கச் சுமை அளவும், காற்று நீரில் கலக்கக்கூடிய உச்சவரம்பு கலப்பளவும், சர்வ தேசக் கதிர்வீச்சுத் தற்காப்புக் குழுவினரின் அறிக்கையில் கண்டவாறு, கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

---

* ஒரு மனிதன் ஒரு நாளைக்கு சராசரியாக சுவாசிக்கும் காற்றின் அளவு 20,000 லிட்டர். குடிக்கும் தண்ணீரின் அளவு 2·2 லிட்டர்.

1. biological half life 2. critical organ
3. maximum permissible body burden
4. maximum permissible concentration

அட்டவணை 12-4

கதிரியக்கப் பொருள் கதிர்வீச்சின் தன்மை முக்கியச் சேத உறுப்பு	உச்ச வரம்பு உடற் கதிரியக்கச் சுமை (மைக்ரோ க்யூரி)	உச்சவரம்பு கலப்பளவு } = மைக்ரோக்யூரி / கன செ.மீ. காற்றில்	குடிநீரில்
டிரிடியம் பீட்டாக் கதிர்வீச்சு உடல் முழுவதும்	1000	5×10^{-6}	0·1
ஆர்கான் –41 பீட்டா, காமாக் கதிர்வீச்சு உடல் முழுவதும்	—	2×10^{-6}	—
ஸ்டிரான்ஷியம் –90 பீட்டாக் கதிர்வீச்சு எலும்பு	2	3×10^{-10}	4×10^{-6}
அயோடின் –131 பீட்டா, காமாக் கதிர்வீச்சு தைராய்டு	0·7	9×10^{-9}	6×10^{-5}
ஸீஷியம் –137 பீட்டா, காமாக் கதிர்வீச்சு உடல் முழுவதும்	30	6×10^{-8}	4×10^{-4}
ரேடியம் –226 ஆல்ஃபா, பீட்டா, காமாக் கதிர்வீச்சு எலும்பு	0·1	3×10^{-11}	4×10^{-7}
இயற்கைத் தோரியம் ஆல்ஃபா, பீட்டா, காமாக் கதிர்வீச்சு எலும்பு	0·01	2×10^{-12}	3×10^{-5}
இயற்கை யுரேனியம் ஆல்ஃபா, பீட்டா, காமாக் கதிர்வீச்சு சிறுநீரகம்	0·005	7×10^{-11}	5×10^{-4}
புளூட்டோனியம் –239 ஆல்ஃபா, பீட்டா, காமாக் கதிர்வீச்சு எலும்பு	0·04	2×10^{-12}	10^{-4}

தற்காப்பு முறைகள்[1]

கதிரியக்கப் பொருள்கள் உண்டாக்கப்படும் அல்லது உபயோகப் படுத்தப்படும் இடங்களில் பணிபுரிபவர்கள் மூன்று முறைகளில் தங்களைக் கதிர்வீச்சினின்றும் காத்துக் கொள்ளலாம். முதலில், உடலுக்கு வெளியே உள்ள கதிரியக்கப் பொருள்களில் இருந்து காத்துக்கொள்வது எப்படி என்று தெரிந்து கொள்வோம்.

இப்பொருள்கள் வீசும் ஆல்ஃபாக் கதிர்கள், காற்றில் ஒரு சில மில்லி மீட்டரைக் கடக்கு முன்னரே காற்றிலுள்ள அணுக்களால் தடுக்கப்பட்டு தங்கள் சக்தியை இழந்துவிடுகின்றன. பீட்டாக் கதிர்கள், ஒரு சில செ.மீ. தூரம் முதல் பல மீட்டர் தூரம் வரை காற்றில் செல்லக்கூடியவை. ஆனால் இவற்றை, சில செ.மீ. அளவே கனமுள்ள நீர், மரம், கண்ணாடி, பிளாஸ்டிக் முதலிய பொருள்கள் தடுத்து நிறுத்திவிடும். காமாக் கதிர்கள் அல்லது நியூட்ரான்களோவெனில், காற்றில் வெகு தூரமும், பிற பொருள்களில் பல மீட்டர் வரையிலும் ஊடுருவக்கூடிய ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கின்றன. ஆகவே, ஆல்ஃபா அல்லது பீட்டாக் கதிர்களை வீசும் பொருள்களைப் பொறுத்தமட்டிலும், அவற்றிற்கு மிக அருகில் இருந்தால் மட்டுமின்றி, அவற்றால் நாம் பெறக்கூடிய கதிர் டோஸ் மிகக் குறைவானதே.

காமாக் கதிர்வீச்சுப் பொருள்களைப் பொறுத்தமட்டில், நாம் அவற்றினின்று விலகிச் செல்லச் செல்ல, கதிர்வீச்சு அளவானது, குறைந்து கொண்டே வருகிறது. இக்குறைவு, தூரத்தின் வர்க்கத்தைப் பொறுத்திருக்கிறது. உதாரணமாக, ஒரு க்யூரி கோபால்ட்–60லிருந்து ஒரு மீட்டர் தூரத்தில் உள்ள கதிர்வீச்சளவு மணிக்கு 1·33 ராண்ட்ஜன் ஆகும். இந்த அளவு, இரண்டு மீட்டர் தூரத்தில் நான்கு மடங்கு குறைந்து, மணிக்கு 0·3325 ராண்ட்ஜன் ஆகிவிடுகிறது. ஆகவே, கதிரியக்கப் பொருள்களிலிருந்து தகுந்த தூரத்தில் இருந்தவாறே அவற்றைப் பயன்படுத்துவது, அவற்றின் கதிர்களிலிருந்து நம்மைப் பாதுகாத்துக் கொள்வதற்கான முறைகளில் எளிதானதாகும்.

கதிரியக்கப் பொருள்களின் அருகிலேயே நின்று வேலை செய்யும் நிர்ப்பந்தம் ஏற்படும்போது, கதிர்களின் பாதையிலேயே அவைகளைத் தடுக்கக்கூடிய பொருள்களை அமைத்து நம்மீது வீசப்படும் கதிர் அளவை வேண்டிய மட்டும் குறைத்துக்கொள்ளலாம். இக்குறைப்பு, வீசப்படும் கதிர்களின் தன்மையையும், சக்தியையும், தடுப்புப் பொருளின் தன்மையையும், அதன் கனத்தையும் பொறுத்திருக்கிறது.

ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு சக்திகொண்ட காமாக் கதிர்களைத் தடுத்து, அவற்றின் கதிரளவைப் பாதியாகக் குறைப்பதற்குத் தேவையான தடிமனையே[2] அப்பொருளின் அரைக் குறைப்புத் தடிமன்[3] என்

---

1. methods of radiation protection 2. thickness
3. half value thickness (layer)

கிறோம். இதுபோலவே, கதிர்வீச்சளவைப் பத்தில் ஒரு பங்காகக் குறைப்பதற்குத் தேவையான தடிமனை அப்பொருளின் தசக் குறைப்புத் தடிமன்[1] என்கிறோம். ஒரு பொருளின் தசக் குறைப்புத் தடிமன் அதன் அரைக் குறைப்புத் தடிமனைப்போல 3·3 மடங்கு ஆகும்.

ஒரு தடுப்பானின் அ. கு. த. (அரைக் குறைப்புத் தடிமன்) காமாக் கதிர்களின் சக்தியையும் பொறுத்திருக்கிறது. சில குறிப்பிட்ட காமாக் கதிர்களுக்காக, சில தடுப்பான்களின் அ.கு.த. கீழ்க்காணும் அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த அட்டவணையிலிருந்து, கான்க்ரீட்டு, இரும்பு இவற்றைவிடக் காரீயம் சிறந்த தடுப்பான் எனத் தெளிவாகிறது.

அட்டவணை 12-5

அரைக் குறைப்புத் தடிமன்கள்

தடுப்பான்	அரைக் குறைப்புத் தடிமன் (செ.மீ.)			
	கோபால்ட்—60 காமாக் கதிர்கள்	ஸீஷியம்—137 காமாக் கதிர்கள்	இரிடியம்—192 காமாக் கதிர்கள்	தங்கம்—198 காமாக் கதிர்கள்
செங்கல்	10·8	8·7	7·5	6·4
கான்க்ரீட்	7·2	5·9	4·9	4·1
இரும்பு	1·9	1·5	1·2	1·0
காரீயம்	1·1	0·6	0·4	0·3

நியூட்ரான்களைத் தடுத்து நிறுத்துவதற்கு உகந்த பொருள்கள், அதிக நியூட்ரான் கிரகிக்கும் முகப்பரப்புக் கொண்டவையாக இருக்க வேண்டும். இம்முறையில் நோக்கும்போது, குறைவேக நியூட்ரான்களுக்கு காட்மியம், போரான் முதலியன மிகச் சிறந்த தடுப்பான்களாகின்றன. வேக நியூட்ரான்களுக்கு இம்மாதிரி அதிக முகப்பரப்புக் கொண்ட பொருள்கள் இல்லை. எனவே, வேகத்தைக் குறைத்து இவற்றை முதலில் குறைவேக நியூட்ரான்களாகவோ, வெப்ப நியூட்ரான்களாகவோ மாற்றிய பின்னரே தடுப்பு முறைகளைக் கையாளவேண்டும். நியூட்ரான்களின் வேகத்தைக் குறைப்பதற்கு சாதாரணமாக நீர், பாரஃபின் மெழுகு, முதலியவை பயன்படுகின்றன. கான்க்ரீட்டிலுள்ள

1. tenth value thickness (layer)

ஹைடிரஜனுக்கு, நியூட்ரான்களின் வேகத்தைக் குறைத்துப் பின் அவற்றைக் கிரகிக்கும் முகப்பரப்பு அதிகமாக இருப்பதால், நியூட்ரான் காமாக்கதிர் இரண்டுமுள்ள இடங்களில் கான்க்ரீட்டைத் தடுப்பானகச் சிறந்த முறையில் பயன்படுத்தலாம்.

கதிர்வீச்சை, தடுப்புப் பொருள்களின் மூலம் வேண்டிய அளவுக்குக் குறைத்துக்கொள்ள முடியாதபோது, கதிர்வீச்சு நிறைந்திருக்கும் இடங்களில் வேலை செய்யும் நேரத்தைக் கணக்கிட்டுக் குறைத்துக்கொள்வதன் மூலம் பணிபுரிபவர்கள் பெறும் டோஸைக் கட்டுப்படுத்த முடியும். உதாரணமாக, ஓர் இடத்தில், ஒரு மணிக்கு 5 மில்லி ராண்ட்ஜன் கொடுக்கக்கூடிய கதிர்வீச்சு இருக்கிறது என்று கொள்வோம். ஒரு மனிதன் தனது அலுவலின் நிமித்தமாக 40 மணி நேரம் வேலை செய்யும் ஒரு வாரத்தில் ஏற்றுக்கொள்ளக்கூடிய உச்ச வரம்புக் கதிர்வீச்சளவு 100 மில்லி ராண்ட்ஜன் என முன்பே பார்த்தோம். எனவே மேற்சொன்ன இடத்தில் பணிபுரிவோரின் வேலை நேரம் ஒரு வாரத்தில் 20 மணி நேரமாகக் குறைக்கப்பட வேண்டும் என்பது தெளிவாகிறது.

ஆகவே, கதிர்வீசும் பொருள்களிலிருந்து இயன்ற அளவு அதிகத் தொலைவில் இருந்தவாறே பணிபுரிவதும், கதிர்வீச்சுப் பொருள்களுக்கும் பணிபுரிவோருக்குமிடையே தக்க தடுப்புகளை அமைத்துக் கொள்வதும், கதிர்வீச்சுச் சூழ்நிலையில் அலுவல் செய்யும் நேரத்தைக் குறைத்துக்கொள்வதும் ஆகிய மூன்று வழிகளாலும் உடலுக்கு வெளியே உள்ள கதிரியக்கப் பொருள்களின் கதிர்வீச்சினின்று நம்மைத் தற்காத்துக்கொள்ளலாம்.

கதிர்வீசும் பொருள்கள் உடலினுட் செல்லாமல் தடுத்தல்

இரண்டாவதாக, நாம் உட்கொள்ளக்கூடிய காற்று, நீர் முதலியவற்றில் கலந்துள்ள கதிரியக்கப் பொருள்களினின்று நம்மைப் பாதுகாத்துக்கொள்வது எப்படி என்பதைத் தெரிந்துகொள்வோம். கதிரியக்கப் பொருள்கள் கையாளப்படும் இடங்களில் உள்ள காற்றோட்டத்தைச் செயற்கை முறையில் அதிகரித்துக்கொள்வது[1], இவ்வழிகளில் முக்கியமானதாகும். இதன்படி, அவ்விடங்களிலுள்ள காற்று அடிக்கடி வெளியேற்றப்பட்டு, சுத்தமான காற்று உட்செலுத்தப்படுகிறது. இதனல் சுவாசிக்கப்படும் காற்றில் கலந்துள்ள கதிரியக்கப் பொருளின் அளவு குறைக்கப்படுகிறது. இக்குறைப்பு போதுமானதாக இல்லாவிடின், இவ்விடங்களில் பணிபுரிபவர்கள், செயற்கைச் சுவாசினிகளை[2] உபயோகிப்பதன் மூலம் காற்றிலுள்ள கதிரியக்கப் பொருள்களை உட்கொள்ளுவது தவிர்க்கப்படுகிறது. இச்சுவாசினிகளை மூவகைப்படுத்தலாம்.

1. forced ventilation　　2. respirators

(1) காற்றைச் சுத்திகரிக்கும் பொருள்களைக் (வடிகட்டும் தாள், கரித்தூள் முதலியன) கொண்ட சுவாசினிகள்[1]: கதிரியக்கப் பொருள்கள் காற்றிலுள்ள தூசிகளுடன் ஒட்டிக்கொண்டிருக்குமே யானல் அவை வடிதாளால் தடுக்கப்பட்டு விடுகின்றன. வாயுநிலையில் உள்ள கதிரியக்கப் பொருள்களைக் கரித்தூள் கிரகித்து விடுகிறது. ஆனல் காற்றில் கதிரியக்கப் பொருள்கள் அதிக அளவில் கலந்திருந் தாலும், அல்லது இச்சுவாசினிகளை வெகு நேரம் உபயோகித்தாலும், இவற்றிலுள்ள வடிகட்டிகள் அடைபட்டு சுவாசிப்பதற்கு இவை தகுதி யில்லாதவை ஆடுவிடுகின்றன. தவிரவும், காற்றில் ஆர்கான்–41, கிரிப்டான்–85 போன்ற கதிரியக்க மந்த வாயுக்கள் கலந்திருந்தால், இவ்வடிகட்டிகளினல் பயனேதுமில்லை. இவ்வித சந்தர்ப்பங்களில் வேறுவித சுவாசினிகளைப் பயன்படுத்தவேண்டும்.

(2) வெளியிலுள்ள சுத்தக் காற்றுடன் இணைக்கப்பட்ட சுவா சினிகள்[2]: அநேக இடங்களில், அழுத்தம் நிறைந்த காற்றை உட் கொள்ளும் குழாய்கள் பல்வேறு காரணங்களை முன்னிட்டுப் பொருத்தப் பட்டிருக்கலாம். இவ்விதக் குழாய்களிலுள்ள காற்று சுவாசிப்பதற்கும் உகந்ததே. எனவே, இக்குழாய்களுள்ள இடங்களிலும் அவற்றின் நெருங்கிய சுற்றுப்புறங்களிலும், இச்சுவாசினிகளை உபயோகிக்கலாம்.

(3) ஓர் ஆக்ஸிஜன் ஸிலிண்டரிலிருந்து சிறிது சிறிதாகப் பிராண வாயுவை உட்செலுத்தும் சுவாசினிகள்[3]: முன்கூறிய இருவகைச் சுவாசினிகளையும் பயன்படுத்தமுடியாத இடங்களில் இவை பயன்படு கின்றன.

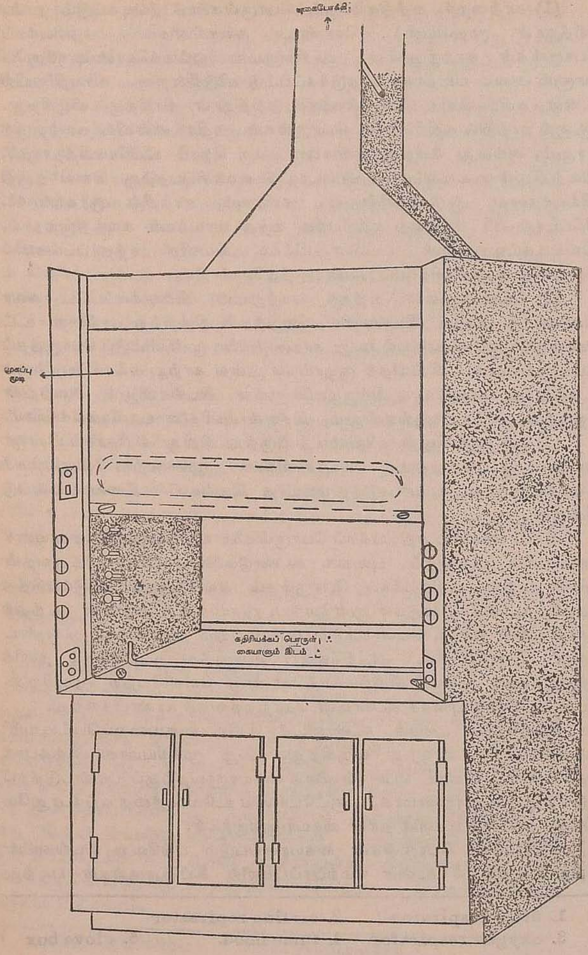
சிறிய அளவில் கதிரியக்கப் பொருள்களை உபயோகிக்கிற ரசாயனச் சாலைகளில் ஒருவிதப் புகைக் கூண்டுகளை[4]ப் பயன்படுத்துவதன் மூலம் காற்றில் கதிரியக்கப் பொருள்கள் கலப்பதைக் கட்டுப்படுத்த முடிகிறது. இக்கூண்டுகளினுள்ளேயே, ரசாயனக் கிரியைகளை நடத்திக் கொள்வதின் மூலம், வெளிப்படும் புகை மற்றும் கதிரியக்கம் கொண்ட வாயுப் பொருள்களை, அதற்கெனப் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் தனிக் குழாய்களின் மூலம், விசிறிகளைக்கொண்டு வெளியேற்ற முடிகிறது. படம் 12–1 ஒரு புகைக் கூண்டின் தோற்றத்தைக் காண்பிக்கிறது.

மேற்கூறிய புகைக் கூண்டைத் தவிர, கையுறைப்பெட்டியும்[5] உபயோகத்தில் இருந்து வருகிறது. இது முக்கியமாக ஆல்ஃபாக் கதிரியக்கம் கொண்ட பொருள்களைக் கையாளுவதற்குப் பயன்படுத்தப் படுகிறது. உதாரணமாக, புளூட்டோனிய உலோகத்தை எப்போதுமே இத்தகைய பெட்டிகளில் தான் கையாளுகிருர்கள்.

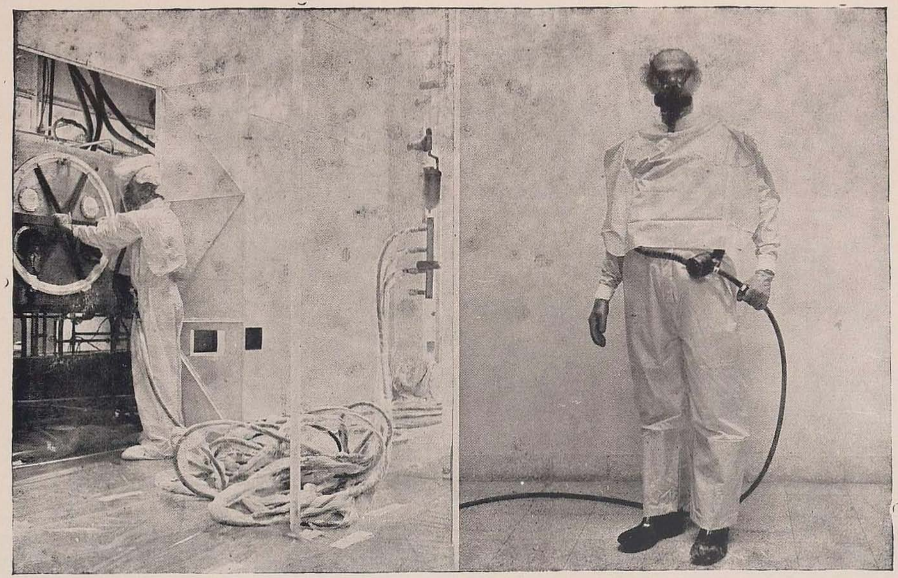
கதிரியக்கப் பொருள்கள் கையாளப்படும் பல்வேறு இடங்களின் சுற்றுப் புறத்தில் உள்ள மேற்பரப்புகளில் இப்பொருள்கள் படிந்து

---

1. filter respirator 2. airline repirsator
3. oxygen respirator 4. fume hood. 5. glove box



படம் 12-1. புகைக் கூண்டு



பிளாஸ்டிக் தற்காப்பு உடை (இரு தோற்றங்கள்)

விடுவது தவிர்க்க முடியாதது ஆகும். இங்ஙனம் படிகின்ற கதிரியக்கப் பொருள்கள் எளிதில் நீக்கக் கூடியவையாக[1] இருந்தால், அம்மேற் பரப்புகளைச் சாதாரணமாக, பழக்கத்திலிருந்து வருகிற முறைகளினுல் சுத்தம் செய்யலாம். நிரந்தரமாகப் படியக்கூடிய[2] கதிரியக்கப் பொருள்களைக் கையாளுகிற இடங்களில், எளிதில் புதுப்பிக்கக் கூடிய மேற்பரப்புகளை உபயோகிப்பதே சிறந்தது.

இவை தவிர, அணிந்துள்ள ஆடைகளின் மேலும், உடலின் பல்வேறு பாகங்கள் மீதும் கதிரியக்கப் பொருள்கள் படிந்து விடக் கூடும். எனவே இப்பொருள்களைக் கையாளுபவர்கள், தங்களுடைய பணியைத் தொடங்குமுன் இதற்கெனப் பிரத்தியேகமாகத் தயாரிக்கப் பட்ட உடைகளையே அணிந்து கொள்கிருர்கள். சில குறிப்பிட்ட பணி களின்போது பிளாஸ்டிக் ஆடைகளை அணிவதும் அவசியம் ஆகிறது. பணி முடிந்ததும், இந்த ஆடைகளைக் களைந்துவிட்டு தங்களை நன்ருகச் சுத்தம் செய்து கதிர்வீச்சை அளக்கும் கருவிகளினுல் பரி சோதித்துக் கொண்ட பின்னரே சொந்த ஆடைகளை அணிந்து கொள்ள அனுமதிக்கப் படுகிருர்கள்.

கதிரியக்கக் கழிவுகளைக் களைதல்

மற்றும், கதிரியக்க ஆராய்ச்சி சாலைகள், அணுஉலைக் கூடங்கள் இவற்றினின்று வெளிப்படுகிற கழிவுப் பொருள்களை அப்புறப்படுத்து வதிலும் பிரத்தியேக கவனம் செலுத்த வேண்டியிருக்கிறது. ஏனெனில், இக்கழிவுப் பொருள்களில் பெரும்பாலான பாகம் கதிரியக்கம் கொண் டது. சம்பந்தப்பட்ட நிறுவனங்களினின்று வாயு, திரவ, அல்லது திடநிலைகளில் இக்கழிவுப் பொருள்கள் வெளியேற்றப் படலாம். உதா ரணமாக, ஓர் அணுஉலை இயங்கும்போது உண்டாகின்ற ஆர்கான்-41, கார்பன்-14, நைட்ரஜன்-16 மற்றும் அணுப்பிளவு விளைபொருள்களாகிய அயோடின், கிரிப்டான், ஜெனுன் முதலியவற்றின் ஐஸோடோப்புகள் வாயுநிலையில் வெளியேற்றப் படுகின்றன. அவ்வணுஉலையின் ஆற்றி யிலும் சில கதிரியக்கப் பொருள்கள் உண்டாகின்றன. தவிரவும், எரி பொருளின் உறையில் கீறல் ஏற்பட்டால் அது காரணமாக, எரிபொருளி லிருந்து கதிரியக்கப் பொருள்கள் ஆற்றியை அடையலாம். எனவே, கதிரியக்கம் கொண்ட இந்த ஆற்றியானது, அவ்வப்போது சுத்தம் செய்யப்படுகிறது. அவ்விதம் சுத்திகரித்தபின், திரவநிலையில் உள்ள கதிரியக்கக் கழிவுப் பொருள்களை அப்புறப்படுத்தும் அவசியம் ஏற்படு கிறது. மேலும், அணுஉலையில் உபயோகப்படுத்தப்பட்ட எரிபொருள் களினின்று புளூட்டோனியம் போன்ற பிளவுபடும் பொருள்களைப் பிரித் தெடுக்கும் தொழிற்கூடங்களில், கதிரியக்கக் கழிவுகள் அமிலக் கரைசல்

1. loose contamination 2. fixed contamination

களாகக் கிடைக்கின்றன. மேற்கூறப்பட்ட வாயு, திரவநிலைக் கழிவு களைத் தவிர, திடநிலையிலும் கதிரியக்கக் கழிவுகள் இருக்கலாம். இவை பெரும்பாலும், கதிரியக்கம் படிந்தவையும், அழிக்கப்பட வேண்டிய வையுமான வெவ்வேறு சாதனங்களும், நீக்கப் படவேண்டிய கதிரி யக்கம் கொண்ட பல்வேறு திடப்பொருள்களுமேயாகும்.

இனி மேற்கூறப்பட்ட கதிரியக்கக் கழிவுகளை, சுற்றுப்புறங்களில் வசிப்பவர்களைப் பாதிக்கா வண்ணம், எவ்விதம் அப்புறப்படுத்துவது என்பதைக் கவனிப்போம்.

பொதுவாக, கழிவுப் பொருள்களில் குறைந்த அரை ஆயுட்காலம் கொண்ட கதிர்வீசும் பொருள்கள் இருப்பின், அவற்றைத் தகுந்த காலத்திற்கு ஒதுக்கி வைத்து, அவற்றின் கதிரியக்கம் வெகுவாகக் குறைந்த பின்னரே களையலாம்.

வாயுநிலைக் கழிவுகள்[1]: இவ்வாயுக்களில் கலந்துள்ள ஏனைய கதிரியக்கத் தூசுகளை, தகுந்த வடிகட்டிகளினால் நீக்கமுடியும். இதன் பின்னர் வாயுநிலைக் கழிவுப் பொருள்கள், மிக உயரமான புகைபோக்கி யின் வழியாக வெளியேற்றப்படுகின்றன. இவ்விதம் செய்வதன் மூலம் தரை மட்டத்தில் உள்ள காற்றில் கதிரியக்கப் பொருள்கள் மிகக் குறைந்த அளவிலேயே கலக்கின்றன.

திரவநிலைக் கழிவுகள்[2]: இவற்றைப் பொதுவாக இரு வழி களில் களையலாம். வேண்டிய அளவு நீருடன் கலப்பதன் மூலம் கதிரியக்கப் பொருளின் அளவை உச்ச வரம்பிற்குள்ளாகவே இருக்கும் படி செய்து, அருகிலுள்ள கடல், ஆறு போன்ற நீர்நிலைகளில் விட்டு விடுதல். இது குறைந்த அளவு கதிரியக்கம் (லிட்டருக்கு சில மைக்ரோக்யூரிகள்) கொண்ட திரவநிலைக் கழிவுகளுக்குச் சிறந்த முறையாகும்.

அதிக அளவு கதிரியக்கம் (லிட்டருக்கு சில க்யூரிகள்) கொண்ட திரவநிலைக் கழிவுகள் முதலில் காய்ச்சி அடர்விக்கப்படுகின்றன. இவ்வாறு அடர்வு மிகுதியாக்கப்பட்ட திரவமானது பூமியினடியில் கட்டப்பட்டுள்ள தொட்டிகளில் மூடப்படுகிறது. இத் தொட்டிகள் சிறிதும் கசிவில்லாதவையாகப் பாதுகாக்கப்படுகின்றன. தவிரவும், கதிரியக்கம் காரணமாக விளையும் வெப்பத்தை அகற்ற இத் தொட்டி களில் குழாய் மூலம் ஆற்றி செலுத்தப்படுகிறது. தொட்டிகளுக்கு நேர்மேலாக, மேற்பரப்பில், கதிர்வீச்சின் அளவை உச்ச வரம்பிற்குட் படுத்துவது மிகவும் அவசியமானதாகும். அல்லது, அடர்விக்கப்பட்ட திரவத்துடன் சிமெண்டைக் கலந்து, கான்க்ரீட்டுக் கட்டிகளாகவோ அல்லது ஒருவித மண்ணுடன் கலந்து சூளையிலிட்டு ஸெரமிக்கு களாகவோ[3] மாற்றிய பின்னர் பூமியினடியில் தகுந்த ஆழத்தில் புதைத்து வைக்கலாம்.

---

1. gaseous wastes 2. liquid wastes 3. ceramics

திடநிலைக் கழிவுகள்[1]: மிக அதிகக் கதிரியக்கம் வாய்ந்த திடநிலைக் கழிவுகள் தக்கமுறையில் பூமியில் புதைக்கப்படுகின்றன. அதிக அளவு கதிரியக்கம் இல்லாத திடநிலைக் கழிவுகளை எரித்து விடலாம். இதற்காகப் பிரத்தியேகமான நீற்றுலை[2]களைப் பயன் படுத்துகிறார்கள். இவ்வுலையில் இடப்பட்ட பொருள்கள் எரிந்து சாம்பலாகிவிடும். கதிரியக்கப் பொருள்கள் பெரும்பாலும் இச் சாம்பலி லேயே தேங்கி விடும்.

கதிர்வீச்சு அளவு முறைகளும், அளவு கருவிகளும்

பல்வேறு பாதுகாப்பு முறைகளைக் கொண்டு 'கதிர்வீச்சு கட்டுப் படுத்தப்பட்ட இடங்களில்'[3] எல்லாம், அவ்வப்போது கதிர்வீச்சின் அளவை அறிந்து கொள்ளப் பெரும்பாலும் பயன்படுத்தப்படுகின்ற கருவிகள் இரண்டு. அவையாவன:

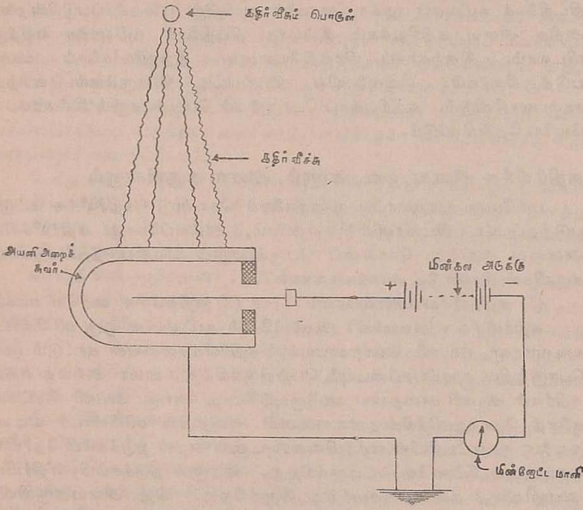
(1) கதிர்வீச்சு அளவுமானி[4] (2) கதிர்வீச்சு ஸர்வே மானி[5]

கதிர்வீச்சு அளவுமானி படம் 12–2ல் காட்டியபடி ஒரு ஸிலிண்டர் வடிவமான அயனி அறையையும், கதிர்வீச்சளவைக் காட்டும் முள் பொருந்திய முகப்பரப்பையும் பெற்றிருக்கிறது, காமா அல்லது எக்ஸ் கதிர்கள் அயனி அறையை ஊடுருவும்போது அங்கு அயனி இரட்டை களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. அயனி அறையின் ஸிலிண்டர் வடிவச் சுவர் ஒரு பாட்டரியின் எதிர்மின்வாயுடனும் அதன் நடுக்கம்பி நேர்மின் வாயுடனும் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதனால் நடுக்கம்பி, எதிர்மின் அயனிகளைத் தன்பால் கவர்ந்து இழுக்கிறது. இது, அளவு கருவியில் மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்துகிறது. இம்மின்னோட்டத்தின் அளவு கதிர்வீச்சின் அளவைக் குறிக்கிறது. மணிக்கு ஒரு சில மில்லி ராண்ட்ஜன் முதல் 5 ராண்ட்ஜன்கள் வரையில் உள்ள கதிர்வீச்சை இக்கருவி அளக்கவல்லது.

கதிர்வீச்சு ஸர்வேமானியிலுள்ள ஒரு சிறு குழாய் போன்ற எண்ணு கருவியின்[6] மீது எக்ஸ் அல்லது காமாக் கதிர்கள் படும்போது அயனித்தல் நிகழ்கிறது. பாஸிட்டிவ் மின்னழுத்தம் பெற்ற நடுக்கம்பியை வந்தடைந்த ஒவ்வொரு அயனியும் ஒரு மின்துடிப்பை ஏற்படுத்துகிறது. இந்த மின்துடிப்புகளையெல்லாம் தொகுத்து ஒரு மின்னோட்டமாக ஸர்வேமானி காட்டுகிறது. தகுந்த ஒப்பீட்டு முறை கள்[7] மூலம், இக்கருவி, கதிர்வீச்சு அளவு வீதத்தை மணிக்கு இத் தனை மில்லிராண்ட்ஜன்கள் என்று காட்டும்படி அமைக்கப்படுகிறது.

மேற்கூறிய இரு கருவிகளிலும் ஒரு மெல்லிய தகட்டினாலான ஜன் னல் போன்ற மூடி அமைப்பு இருக்கிறது. தகடு மூடியநிலையில்

1. solib waates 2. incinerator 3. radiation controlled areas
4. radiation monitor 5. radiation survey meter
6. counter 7. calibration methods



படம் 12–2. அயனி அறையின் அமைப்பு

இக்கருவி, சுற்றுப் புறத்திலுள்ள எக்ஸ் அல்லது காமாக்கதிர் வீச்சளவு வீதத்தை மட்டுமே காட்டுகிறது. ஜன்னல் திறந்து வைக்கப்பட்டிருந் தால், இக்கருவிகள், பீட்டாக் கதிர்வீச்சளவையும் சேர்த்துக் காட்டு கின்றன.

இவை தவிர, மேற்பரப்புகளில் படியக்கூடிய கதிரியக்கப் பொருள் களை அளக்க கதிரியக்கப் படிவுமானி[1] என்பது பயன்படுகிறது. இது பிற எண்ணும் கருவிகளைப் போன்றதுதான். ஆனால் நிமிடத் திற்கு ஒரு சில துகள்களே வெளியிடுகின்ற மிகக் குறைந்த கதிரியக்கத் தையும் கண்டுபிடிக்கவல்லது. அது மட்டுமின்றி, இதில் பொருத்தப் பட்டுள்ள ஒலிபெருக்கி, ஒவ்வொரு துகளுக்கும் ஒரு 'டிக்' ஒலியை உண்டாக்கி, கதிரியக்கத்தைக் காண்பித்துக் கொடுத்துவிடுகிறது. இதனைப் பயன்படுத்தி, தரை, மேசை முதலிய மேற்பரப்புகளில் படிந்

---

1. contamination monitor

துள்ள தூசிகளில் கதிரியக்கம் இருப்பதைக் கண்டுபிடித்துவிடலாம். இது தவிர, பணிபுரிவோரின் ஆடைகள், காலணிகள் முதலியவற்றில் கதிரியக்கப் படிவு இருப்பதைச் சோதிக்கவும் இப்படிவுமானிகள் பயன் படுகின்றன.

காற்றில் கலந்துள்ள கதிரியக்கப் பொருள்களை அளந்தறிவதற்கு காற்றுக் கதிரியக்கமானி[1] உபயோகிக்கப்படுகிறது. இதில் அமைந் துள்ள சக்திவாய்ந்த பம்ப்புகள், சுற்றுப்புறத்தில் உள்ள காற்றை, ஒரு குழாயில் பொருத்தப்பட்ட வடிதாள் வழியாக உள்ளிழுக்கின்றன. சிறு துகள்களாக உள்ள கதிர்வீச்சுப் பொருள்கள், இவ்வடிதாளில் தங்கிவிடு கின்றன. இந்தப் பம்ப்பை இயக்கிய நேரத்தில் உள்ளிழுக்கப்பட்ட காற்றின் கனஅளவைத்தெரிந்து, வடிதாளில் தேங்கியிருக்கும் கதிரியக் கப்பொருள்களின் மொத்த அளவையும் தெரிந்துகொள்வதன் மூலம், சுற்றுப்புறத்தில் உள்ள காற்றில் கலந்துள்ள கதிரியக்கப்பொருள்களின் அளவை, ஒரு க. செ. மீ. காற்றுக்கு எத்தனை மைக்ரோக்யூரி என்று அறிந்துகொள்ளலாம்.

இனி, உடலினுள் சென்றுவிட்ட கதிரியக்கப் பொருள்களின் அள வைத் தெரிந்துகொள்ளும் முறைகளையும் சிறிது கவனிப்போம்.

(1) சிறுநீர்ப் பகுப்பு முறை[2]: உடலினுள் சென்ற கதிரியக்கப் பொருள்கள், வளர்சிதை மாற்றங்கள் காரணமாக, சிறிது சிறிதாக உடற்கழிவுப் பொருள்களுடன் கலந்து வெளிவருகின்றன. எனவே, உடலின் முக்கிய கழிவுப் பொருளாகிய சிறுநீரில் காணப்படும் கதிரியக் கப் பொருள்களின் அளவைக்கொண்டு உடலினுள் தங்கியிருக்கும் கதி ரியக்கப் பொருளின் அளவை ஒருவாறு ஊகிக்கலாம். இம்முறையில், அணுத்துறைப் பணியாளர்கள், தங்களது ஒருநாட் சிறுநீரைச் சேக ரித்து ரசாயனக்கூடத்திற்கு அனுப்பிவிடுகிறுர்கள். அங்கு, இச்சிறு நீரிலுள்ள கதிரியக்கப்பொருள்கள், பல நுட்பமான ரசாயனக் கிரியை கள் மூலம் பிரித்து எடுக்கப்படுகின்றன. பின்னர் இவை அளக்கப் பட்டு, தகுந்த ஒப்பீட்டுமுறைகள் மூலம் உடற்கதிரியக்கச்சுமை கணிக் கப்படுகிறது.

(2) நேர்முக உடற் கதிரியக்க அளவு முறை[3]: இம்முறையில் சம்பந்தப்பட்ட ஊழியர் பிரத்தியேகமான ஒரு கருவியினுள் அமர்த்தப் படுகிறுர். உடம்பினுள் உள்ள கதிரியக்கப் பொருள்களினின்று வெளி வரும் கதிர்வீச்சுகளை இக்கருவி நேரடியாக அளந்துவிடுகிறது. சுற்றுப் புறத்தில் உள்ள பொருள்களின் கதிரியக்கம் இக்கருவியைப் பாதிக்கா வண்ணம் மிகக் கனமுள்ள எஃகுச்சுவர்கள் நாற்புறமும் இருப்பதால், இது ஒரு எஃகுச் சிறைபோல் காட்சியளிக்கும்.

---

1. air monitor 2. urine radioactivity analysis
3. direct body activity measurement

ஃபிலிம் அளவு முறை[1]

அணுக்கதிர்களால், ஒரு தனி மனிதனுக்கு விளையும் தீங்கானது, அவனால் தன் வாழ்நாளில் பெறப்பட்ட மொத்தக் கதிரளவைப் பொறுத்த தாகும். எனவே, அணுசக்தித் துறையில் ஈடுபட்ட ஒவ்வொரு ஊழிய ராலும் பெறப்பட்ட மொத்தக் கதிர்வீச்சளவைக் கண்டு, பதிவுசெய்து வைக்கவேண்டியது மிகவும் அவசியமாகும். இதற்கு நிரந்தரமானதும், சீரானதும் ஆன ஓர் அளவுமுறை தேவைப்படுகிறது. இதற்குப் பெரும்பாலும் பயன்படுவது ஃபிலிம் அளவு முறையாகும். ஒளிபுகா வண்ணம் நன்கு பொதியப்பட்ட புகைப்பட ஃபிலிம் ஒன்றில் படும் கதிர் வீச்சானது, தன் அளவுக்குத் தகுந்தாற்போல் ஃபிலிமில் ரசாயன விளைவை ஏற்படுத்துகிறது. ஃபிலிமைக் கழுவியபின்னர் கதிர்வீச்சால் பாதிக்கப்பட்ட இடங்கள் கறுப்பாக மாறுகின்றன. ஃபிலிமின்மேல் விழும் கதிர்டோஸ் அதிகரிக்க அதிகரிக்க, இதில் ஏற்படும் கருமையும் அதிகரிக்கிறது. இந்தக் 'கருமை'யை[2] அளந்து டோஸை அளப்ப தற்குப் பின்வரும் முறை பயன்படுகிறது.

ஓர் ஒளிக்கீற்று ஃபிலிமின் வழியாக ஊடுருவச் செய்யப்படுகிறது. பிலிமில் உள்ள கருமை ஒளிக்கீற்றின் தீவிரத்தைக் குறைத்து அனுப்பு கிறது. வெளிவரும் ஒளிக்கீற்றின் தீவிரத்தை அளப்பதன் மூலம் ஃபிலிமில் உள்ள கருமையை அளக்கலாம்.

ஊழியர் ஒவ்வொருவருக்கும் இம்மாதிரி ஃபிலிம் ஒன்று கொடுக்கப் பட்டு, வாரம் ஒருமுறையோ, மாதம் இரண்டு முறையோ சேகரிக்கப் பட்டு, புது ஃபிலிம் ஒன்று கொடுக்கப்படுகிறது. ஒரு ஃபிலிம் காட்டும் கதிர்டோஸின் அளவை, அதை அணிந்த ஊழியரால் உட்கொள்ளப்பட்ட கதிர்வீச்சளவாகப் பதிவுசெய்து கொள்கிறார்கள். தகுந்த பதிவு முறை களின் மூலம், எந்தச் சமயத்திலும் ஒரு குறிப்பிட்ட ஊழியரால் அது வரை பெறப்பட்ட மொத்தக் கதிர்டோஸை எளிதில் அறியமுடியும்.

பேனா டோஸ்மானி[3]

மேற்கூறப்பட்ட ஃபிலிம் அளவுமுறையில் ஒருவரால் பெறப்பட்ட கதிரளவை உடனுக்குடன் அறியமுடியாது. ஃபிலிமைக் கழுவுதல், கருமையை அளத்தல், கதிர்வீச்சளவைக் கணக்கிட்டு அறிதல்போன்ற விரிவான செய்முறைகள் காலதாமதத்தை உண்டாக்குகின்றன. ஒரு கதிர்வீச்சுப்பணியில் ஒருவர் பெற்ற கதிர்டோஸை உடனுக்குடனே தெரிந்துகொள்ள, பேனா டோஸ்மானி பயன்படுகிறது. அளவிலும், தோற்றத்திலும், கிளிப்புடன் கூடிய பேனா போன்றது இந்த அளவு மானி. இதைச் சட்டைப்பையில் சுலபமாக அணிந்துகொள்ள முடியும். இதன் ஒரு முனையிலுள்ள லென்ஸ் வழியாக வெளிச்சத்தில் பார்த்தால்,

---

1. film monitoring
2. darkness or density
3. pen (pocket) dosimeter

மறுமுனையில், கதிர்வீச்சளவைக் காட்டும் ஓர் அளவுகோலும் முள்ளும் தென்படும். ஒரு பிரத்தியேக மின்கருவி மூலம் இந்த முள்ளை பூஜ்யத்திற்கு எதிராகக் கொண்டுவர முடியும். இதன்பின் இதைச் சட்டைப் பையில் அணிந்துகொண்டு, கதிர்வீச்சுப்பணியில் ஈடுபடலாம். பணி முடிந்தபின், அவ்வூழியரால் பெறப்பட்ட கதிர்வீச்சளவை அம்முள் காட்டும்.

இதுவரை கூறப்பட்ட அளவுமுறைகளெல்லாம் அன்றாடத் தற்காப்பு முறைகளை அனுசரிக்க உதவுபவை. இனி சில பிரத்தியேக அளவுமுறைகளைக் காண்போம்.

உயர்டோஸ் அளவுமுறை[1]

அணுஉலை போன்ற இடங்களில் ஏதேனும் ஒரு விபத்து நிகழ்ந்தால் கதிர்வீச்சளவு பெருமளவில் வெளிப்படும். மேற்கூறிய கருவிகளில் எதுவும் இவ்வளவு அதிகமான கதிர்வீச்சை அளக்கப் பயன்படாது. இதற்காகச் சில ஆயிரம் ராண்ட்ஜன் முதல் பல லட்சம் ராண்ட்ஜன் வரை அளக்கவல்ல சில பிரத்தியேக அளவுமுறைகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. காமாக்கதிர் அளவைத் தெரிந்துகொள்ள ரசாயன முறைகளையும் நியூட்ரான்களின் அளவை அறிய தூண்டல்[2] முறையையும் பயன்படுத்துகிறார்கள். முன்னதற்கு, குளோரோஃபாரம், மெதிலீன் நீலம், இரும்பு ஸல்ஃபேட் போன்ற ரசாயனப்பொருள்களும், இரண்டாவது முறைக்கு, தங்கத்தகடுகளும், கந்தக வில்லைகளும் பயன்படுகின்றன. இவைதவிர, விபத்துக்குள்ளான ஒரு மனிதரால் பெறப்பட்ட கதிர்வீச்சளவை, அவரது ரத்தத்தில் தோன்றியுள்ள மாற்றங்களைப் பரிசோதித்துத் தெரிந்துகொள்வதன் மூலம் சுமாராகக் கணக்கிட்டுச் சொல்லமுடியும்.

கதிர்வீச்சுப் பாதுகாப்புக் குழு[3]வினரின் கடமை

அணுக்கதிர் சம்பந்தப்பட்ட இடங்களிலெல்லாம், கதிர்வீச்சு விளைவுகளை அறிந்து அதற்குத் தகுந்த பாதுகாப்பு முறைகளை அமுலாக்குவதற்கு ஒரு தனிக்குழு நியமிக்கப்படுகிறது. இந்தக் கதிர்வீச்சு பாதுகாப்புக் குழுவினரின் பணிகள் கீழ்க்கண்டவை.

(i) ஆலைகளும், கூடங்களும் அமைக்கப்படும்போது கதிர்வீச்சுப் பாதுகாப்பை முன்னிட்டு, அவற்றின் அமைப்பில் செய்யப்பட வேண்டியன குறித்து ஆலோசனை வழங்குதல்.

(ii) இவ்வாலைகளும் கூடங்களும் இயங்க ஆரம்பித்தவுடன், அவற்றிலுள்ள காற்று, நீர், மற்றும் சுற்றுப்புறங்களின் கதிர்வீச்சளவு

---

1. high level dosimetry 2. activation
3. health physics group

களைப் பலவிதப் பரிசோதனைகளாலும், தங்களிடமுள்ள பல்வேறு கருவிகளாலும் கண்டறிதல்.

(iii) தக்க பாதுகாப்பு முறைகளை அமுலாக்குதல்.

(iv) கதிர்வீச்சு விளைவுகளைப் பற்றியும், பாதுகாப்பு முறைகளை அனுசரிக்க வேண்டிய விதங்களைப் பற்றியும் ஊழியர்களுக்கு அவ்வப் போது விளக்குதல் முதலியன.

எடுத்துக்காட்டாக, ஓர் அணுமின்நிலையத்தில் இக் குழுவினரின் பணிகள் என்ன என்று காண்போம்.

இந்த அணுமின்நிலையங்களில் மிகப் பெரிய அளவில் கதிரியக்கப் பொருள்கள் உண்டாகின்றன. சாதாரணமாக, அணுமின்நிலையங்கள் இயங்கும்போது, கதிரியக்கப் பொருள்கள் திரவ, வாயு நிலைகளில் வெளியேற்றப்படுகின்றன. எதிர்பாராவிதமாக, இந் நிலையங்களில் ஏதேனும் விபத்து நிகழுங்கால், ஏராளமான அளவு கதிரியக்கப் பொருள்கள் கட்டுக்கடங்காமல் வெளியேற்றப்படக் கூடும். இதனுல் சுற்றுப்புறங்களிலுள்ள நீர்நிலைகளும், உயிரினங்களும் பாதிக்கப் படலாம். இவற்றை மனத்தில் கொண்டு, இந்நிலையங்களை அமைப் பதற்காக, பரிசீலனைக்கு எடுத்துக் கொள்ளப்பட்ட இடங்களை ஆராய்ந்து, ஒரு தகுந்த இடத்தைத் தேர்ந்து எடுப்பதில் இக் குழு தனது ஆலோசனையைக் கூறுகிறது. இவ்விடத்தில் நிலையத்தை நிர்மாணிக்கும் முன்னேயே, சுற்றுப்புறங்களில் இயற்கையாக உள்ள கதிரியக்கத்தின் அளவுகளைத் தெரிந்து கொள்ளுமுகமாக, இக்குழு பல் வேறு பரிசோதனைகளை மேற்கொள்கிறது. இங்ஙனம் சேகரிக்கப்பட்ட தகவல்கள், இந் நிலையங்கள் இயங்க ஆரம்பித்தவுடன், அவற்றினின்று வெளிப்படுகின்ற கதிரியக்கப் பொருள்களால் சுற்றுப்புறங்கள் எவ்வளவு தூரம் பாதிக்கப்படுகின்றன என்பதைத் தெரிந்து கொள்ள உதவுகின்றன.

அணுமின்நிலையங்களைத் திட்டமிடும் கட்டத்திலேயே தற்காப்பு சம்பந்தமான கீழ்க்கண்ட விஷயங்களைப் பற்றி இக் குழு தனது ஆலோசனையைத் தெரிவிக்கும் :

(i) இந்நிலையங்கள் இயங்கத் தொடங்கிய பின்னர், அன்றுடம் வெளிப்படக்கூடிய கதிரியக்கப் பொருள்களின் அளவைக் கணக்கிடுதல்.

(ii) இவற்றை உச்ச வரம்பிற்குட்படுத்தும் பொருட்டு கட்டிட நிர் மாண அமைப்பில் மேற்கொள்ளவேண்டியவற்றை எடுத்துக் கூறுதல்.

(iii) இந்நிலையங்களில் ஏற்படக்கூடிய பல்வேறு விதமான விபத்துக் களையும் பற்றிக் கூர்ந்து தெளிதல்.

(iv) இவ்வித விபரீதங்கள் நேருங்கால் வெளிப்படக்கூடிய கதிரி யக்கப் பொருள்கள் சுற்றுப்புறங்களில் கட்டுக்கடங்காமல் பரவுவதைத் தவிர்க்க, கட்டிட நிர்மாணத்தில் மேற்கொள்ளவேண்டியவற்றைத் தெரிவித்தல்.

இம்மாதிரி தகவல்களைத் தொகுத்து கதிரியக்கப் பாதுகாப்புப் பரிசீலனை அறிக்கை[1] ஒன்றை இக் குழு சமர்ப்பிக்கிறது. எதிர் பாரா விபத்து நேருங்கால், இந்நிலையங்களில் பணிபுரிபவர்களும், சுற்றுப்புறங்களில் வாழ்பவர்களும் அனுசரிக்க வேண்டிய சில பொது வான விதிகளையும் இவ்வறிக்கை சமர்ப்பிக்கிறது.

நிலையங்கள் இயங்க ஆரம்பித்தவுடன், இக் குழுவினைச் சார்ந்த பலர் இவற்றில் நிரந்தரமாகப் பணிபுரிய அமர்த்தப்படுகின்றனர். இவர்கள் அன்றாடம் இந்நிலையங்களிலுள்ள கதிரியக்கப் பொருள்களின் அளவுகளைத் தெரிந்து, அதற்குத் தகுந்த பாதுகாப்பு முறைகளை அங்கு பணிபுரிவோரிடையே அமுலாக்குகின்றனர். இங்கு பணிபுரிவோர் ஒவ்வொருவரும் அவ்வப்போது பெறுகின்ற கதிர்வீச்சளவுகளைப் பதிவு செய்து, அவை உச்ச வரம்பிற்குட்பட்டிருக்கின்றனவா என்பதையும் பரிசீலிக்கின்றனர். இவை தவிர, இந்நிலையங்களிலுள்ள எந்திர சாதனங்களையும், மேற்பரப்புகளையும் கதிரியக்கப் படிவு[2] விழாமல் சுத்தமாக வைத்துக் கொள்ளத்தக்க நடவடிக்கைகளை மேற்கொள்ளும் பொறுப்பு இவர்களைச் சார்ந்ததே.

முடிவுரை

அணுசக்தியையும் கதிரியக்கத்தையும் ஒரு தூண்டு கோலாகக் கொண்டு, பல்வேறு தொழில் துறைகளும் ஆராய்ச்சித் துறைகளும் வெகு வேகமாக முன்னேறிக் கொண்டுவரும் இந்நாளிலே, கதிர்வீச்சுத் தற்காப்புத் துறை, மிக அத்தியாவசியமான தொன்ருகி விட்டது. சுற்றுப்புறங்களையும், உயிரினங்களையும் கதிர்வீச்சினின்று பாதுகாக்க வேண்டிய ஒரு பொறுப்புள்ள பணி இத்துறையினது. இதனை நன்குணர்ந்தாற் போல, இத்துறையில் கடந்த இருபது அல்லது இருபத்தைந்து ஆண்டுகளுக்குள்ளாக நடத்தப்பட்ட ஆராய்ச்சிகள் பலப்பல. இதன் காரணமாக பல்வேறு உச்ச வரம்பு அளவுகளும் அவ்வப்போது நன்கு பரிசீலிக்கப்பட்டு, அவசியமேற்பட்டால், அவை களில் தகுந்த மாற்றங்களும் செய்யப்படுகின்றன. இத்தகைய நட வடிக்கைகளினுல், இன்று மனித இனம் அணுக்கதிர்வீச்சால் மிகக் குறைந்த அளவிலேயே பாதிக்கப்பட்டிருக்கிறது.

அட்டவணை 12–6 இதை எடுத்துக்காட்டுகிறது. பல்வேறு துறைகளுடன் ஒப்பிட்டுப் பார்க்குங்கால், இவ்வணுசக்தித் துறை இன்று மிகக் குறைந்த அபாயத்துடன் இயங்கி வருகிறது எனத் துணிந்து கூறிவிடலாம்.

அட்டவணை 12–6 மனிதனுடைய சராசரி ஆயுட்காலம், அணுக்கதிர்களாலும், இதனுடன் சம்பந்தமில்லாத மற்ற காரணங் களாலும், எவ்வாறு பாதிக்கப்படுகிறது என்பதை விளக்குகிறது.

---

1. radiation hazards evaluation report 2. contamination

[மூலம்: 'Nuclear Safety' பத்திரிகையில் 7ஆம் பாகம் 2ஆம் இதழில் C. R. McCulloughs தயாரித்திருக்கும் அட்டவணை.]

அட்டவணை 12-6

ஆயுட்காலம் பாதிக்கப்படக் காரணங்கள்	ஆயுள் நீடிப்பு அல்லது குறைப்பு (வருடங்களில்)*
1. கதிர்வீச்சு சம்பந்தப்படாதவை	
(a) கிராம வாழ்க்கை (நகரில் வாழ்பவரோடு ஒப்பிட்டால்)	+ 5·0
(b) மண வாழ்க்கை (பிரம்மச்சாரிகள், தாரம் இழந்தவர்களோடு ஒப்பிட்டால்)	+ 5·0
(c) புகைப் பழக்கம்	
நாளொன்றுக்கு ஒரு பாக்கெட்	− 7·0
நாளொன்றுக்கு இரண்டு பாக்கெட்	−10·0
(d) அதிக உடற்பருமன் (சாதாரண மனிதனை விட 25 சதவீதம் எடை அதிகமிருந்தால்)	− 3·6
(e) பெண்பாலர் (ஆண்களின் சராசரி ஆயுட்காலத்தோடு ஒப்பிடும்போது)	+ 3·0
(f) 80 வயது வரை உயிரோடிருந்த பெற்றோரைக் கொண்டிருந்தால்	+ 3·7
(g) இருதய நோய்	−11·0 to −13·0
2. கதிர்வீச்சு சம்பந்தப்பட்டவை	
(a) இயற்கையாகவே சூழ்நிலையிலுள்ள கதிரியக்கப் பொருள்களினின்று வரும் கதிர்வீச்சினால் பாதிப்பு (70 வருடங்களில் 7 ரெம் கதிர்வீச்சு டோஸ் பெறுவதாகக் கொண்டால்)	− 0·1
(b) அணுசக்தி சம்பந்தப்பட்ட ஆராய்ச்சி நிறுவனங்களிலும், அணுமின் நிலையங்களிலும் கதிர்வீச்சுடன் சம்பந்தப்பட்ட வேலைகளில் தினந்தோறும் ஈடுபடல் (வருடத்திற்கு 5 ரெம் டோஸ் வீதம் 30 வருடங்களுக்கு கதிர் டோஸ் பெறுவதாகக் கொண்டால்)	− 2·9
(c) அணுமின் நிலையங்களைச் சார்ந்த சுற்றுப்புறங்களில் வாழ்தல்	− 0·0007

* ஆயுட்கால நீடிப்பை + என்ற அடையாளக் குறியும், ஆயுட்காலக் குறைப்பை − என்ற அடையாளக் குறியும் காட்டுகின்றன.

REFERENCES

1. H. BLATZ (ED): "*Radiation Hygiene Handbook*" McGraw Hill, New York.

2. H. BLATZ: "*Introduction To Radiological Health*" McGraw Hill, New York.

3. "*Basic Radiological Health*" A course conducted by Radiological Health Training Activities and Training Program, R. A. Taft Sanitary Engineering Centre, Cincinatti, Ohio.

4. C. B. BRAESTRUP AND H. O. WYCKOFF: "*Radiation Protection*" Charles C. Thomas, Springfield, Illinois.

5. IAEA SAFETY SERIES: (1) *Safe Handling of Radioisotopes* 2. *Health Physics Addendum*—IAEA, VIENNA.

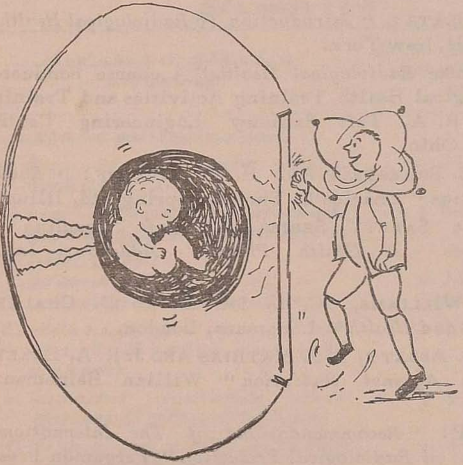
6. K. WILLIAMS, C. L. SMITH, H. D. CHALKE: "*Radiation and Health*" Longmans, London.

7. J. D. ABBATT, D. J. MATHIAS AND J. R. A. LAKEY: "*Protection Against Radiation*" Willian Heinemann, London.

8. ICRP: "*Recommendations of The International Commission on Radiological Protection*" Pergamon Press, London.

9. J. F. HANDLOSER: "*Health Physics Instrumentation*" Pergamon Press, London.

10. "*Code of Practice for persons working with Ionizing Radiation*"—H. M. Stationery Office, London.



13. அணுக்கதிர்—உயிரியல்[1]

[கே. ஜி. ராகவன்]

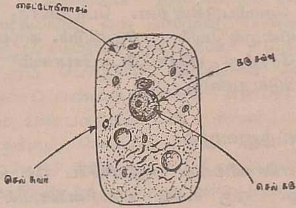
வாழும் செல்கள்[2]

உயிரினங்கள் செல்களாலானவை. ஒரு செல் உயிரினத்திலிருந்து, கோடிக்கணக்கான செல்கள் பெற்ற உயிரினங்கள்வரை எல்லாமே செல்களாகிய கற்களால் கட்டப்பட்ட பலவிதமான கட்டடங்களாகும். எனவேதான், யானை ஒன்றின் செல்லிற்கும், சிறு எறும்பு ஒன்றின் செல்லிற்கும் இடையே அடிப்படையான அமைப்புக்களில் அதிகமான வேறுபாடுகளைக் காணமுடிவதில்லை. அவ்வண்ணமே இதய செல் ஒன்றிற்கும் மூளை செல் ஒன்றிற்கும் இடையே அடிப்படையான அமைப்புகளில் முக்கிய வேறுபாடுகள் இருப்பதாகத் தெரியவில்லை.

---

1. radiobiology 2. cells

ஆனால் இதய ஸெல்லின் செயல்வினையும்[1] மூளை ஸெல்லின் செயல்வினையும் முழுக்க முழுக்க வேறுபட்டுக் காணப்படுகின்றன. உறுப்புக்களின் வேலைகளுக்குத் தகுந்தாற்போல், அந்தந்த உறுப்புக்களின் ஸெல்கள் தனித்துவம்[2] பெற்றுத் திகழ்கின்றன.



படம் 13-1. ஸெல்லின் அமைப்பு

ஸெல்லின் அமைப்பும்[3] செயல்வினைகளும்

படம் 13-1 ஒரு ஸெல்லின் பாகங்களைக் காட்டுகிறது. சற்று வட்ட வடிவமாக, மற்றப் பகுதியிலிருந்து தனித்துக் காணப்படும் பகுதி கரு[4] ஆகும். கருவிற்கும் ஸெல் சுவருக்கும்[5] இடையில் உள்ள பகுதி ஸைட்டோபிளாஸம்[6] எனப்படும். இந்த ஸைட்டோபிளாஸம் ஒரு திறமைமிக்க தொழிற்சாலையாகும். இங்கு சிதைவு வேலையும், ஆக்க வேலையும் ஒரே சமயத்தில் நடந்து கொண்டிருக்கின்றன. இங்குதான் உணவுப் பொருள்களும், வேறு உடலியல் பொருள்களும் சிறுசிறு மூலக்கூறுகளாக மாற்றப்படும் சிதைவு மாற்றமும்,[7] சிறுசிறு மூலக் கூறுகளை இணைத்து, பெரிதான மூலக்கூறுகளை உண்டாக்கும் வளர்ச்சி மாற்றமும்[8] நடைபெறுகின்றன. இவ்விருவகை மாற்றங்களும் வளர் சிதை மாற்றம்[9] என்ற பொதுப் பெயரால் குறிக்கப்பெறும்.

வளர்சிதை மாற்றத்திலிருந்து பெறப்படும் சக்தியைச் சேமித்து வைப்பதும், தேவைப்படும்பொழுது சேமித்த சக்தியைச் செலவழித்து ஸெல் வளரவும், உடல் இயக்கங்கள் நடைபெறவும் தேவையான பொருள்களைத் தயாரிப்பதும், நச்சுப்பொருள்களின்[10] வலி அழிப்பதும் ஸைட்டோபிளாஸத்தின் முக்கிய செயல்வினைகளாகும்.

---

1. function. 2. specialisation
3. cell structure 4. nucleus 5. cell wall 6. cytoplasm
7. catabolism 8. anabolism 9. metabolism
10. toxic substances

ஸெல் பிரிவில்[1] மிக முக்கியமான பங்கை கரு வகிக்கிறது. வளர்ச்சியடைந்த ஸெல், நடுவில் குறுகி இரண்டு ஸெல்களாகப் பிரிவதை ஸெல் பிரிவு என்பர். இத்தகைய ஸெல் பிரிவின் பொழுது கருவில் பல மாற்றங்கள் தோன்றுகின்றன.

கருவும் ஸைட்டோபிளாஸமும் ஸெல்லின் உயிர்வாழ்விற்கும் விருத்திக்கும்[2] இன்றியமையாதவைகளாகும். இவைகள் ஒன்றை ஒன்று சார்ந்தே செயல்படுகின்றன. பொதுவாக, கருவை ஸெல்லிலிருந்து பிரிக்க முயன்றால் ஸெல் மடிந்துவிடும். கருவையும் ஸைட்டோபிளாஸத்தையும் சேர்த்து புரோட்டோபிளாஸம்[3] என்ற பொதுப் பெயராலும் குறிப்பிடுவதுண்டு.

வளர்ச்சியும் தனித்துவமும்

ஸெல்களின் எண்ணிக்கை அதிகரிப்பே ஓர் உயிரின் வளர்ச்சியாக[4] அமைகிறது. ஒரு ஸெல் உயிரினங்களில்[5] ஸெல் பிரிவே இனப்பெருக்க[6]மாகி விடுகிறது.

பல ஸெல் உயிரினங்களும்[7] ஆரம்பத்தில் ஒரே ஸெல்லாலான கருமுட்டை[8]யிலிருந்துதான் வளர்ச்சியடைகின்றன. இக் கருமுட்டை பிரிவதனால் உண்டாகும் புதிய பல்வேறு ஸெல்களும் ஒன்றைப்போல ஒன்று இருப்பதில்லை. காலப்போக்கில் வெவ்வேறு வகையான செயல் வினைகளை ஆற்றுவதற்கும், வெவ்வேறு உறுப்புக்களின் திசுக்களை உண்டாக்குவதற்கும் எனத் தனித்தனிக் குணங்களைப் பெற்று, தொடக்க முதலே தனித்துவம் பெற்ற ஸெல்களாகவே அவை வளருகின்றன.

தனித்துவம் பெற்றதும் ஸெல்லானது பிரிவு செய்வதை நிறுத்திக் கொண்டுவிடும். எனவே தனித்துவ ஸெல்களுக்குச் சேதம் ஏற்பட்டால் சுற்றுப்புறத்தில் உள்ள தனித்துவம் பெறாத ஸெல்கள் பிரிவுக்கு உள்ளாகும்படி தூண்டப்படுகின்றன. இதனால் தனித்துவம் பெறாத ஸெல்கள், ஸெல்பிரிவினால் பெருகத் தொடங்குகின்றன. இவ்வாறு தாய் ஸெல்லில்[9] இருந்து தோன்றும் சேய் ஸெல்கள்,[10] பின்னர் தனித்துவம் பெற்று நஷ்டத்தை ஈடுசெய்கின்றன. தோல், ஈரல் போன்ற பகுதிகளில் ஏற்படும் காயங்கள் இம்முறையில்தான் குணமாகின்றன. ஆனால் தசை, நரம்பு ஆகியவற்றின் ஸெல்கள் மிகவும் தனித்துவம் பெற்றவைகளாகும். அவைகளுக்குக் காயம் ஏற்பட்டால்

---

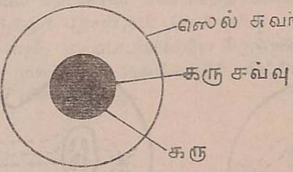
1. cell division
2. multiplication
3. protoplasm
4. growth
5. unicellular organism
6. reproduction
7. multicellular organism
8. zygote
9. parent cell
10. daughter cell

அந்தத் தனித்துவ செல்கள் பிரிவுக்குள்ளாவதில்லை. எனவே காயமும் செல் பிரிவு முறையில் ஈடுசெய்யப்படுவதில்லை.

செல் பிரிவு

செல் பிரிவின்பொழுது கருவில் திரிகள் போன்ற வடிவங்கள் தோன்றுகின்றன. இவைகளை நுண்பெருக்கி[1]யின் மூலம் காண முடியும். உயிரினங்களின் ஒரு தலைமுறை[2]யிலிருந்து அடுத்தடுத்த தலைமுறைகளுக்கு பாரம்பரியப் பண்புகளை[3] எடுத்துச் செல்லும் பண்பகங்கள்[4] என்னும் பொருளால் இத்திரிகள் கோக்கப்பட்டுள்ளன. எனவே இத்திரிகளைப் பண்பகத்திரிகள்[5] என்பர். ஓர் உயிரினத்தின் எந்த செல்லிலும் பண்பகத்திரிகளின் எண்ணிக்கை ஒரு குறிப்பிட்ட அளவிலேயே இருக்கும். செல்லின் கருவில் இவை இணை இணையாகக்[6] காணப்படும். ஒரே ஓர் இணையை எடுத்துக்கொண்டால் அதில் உள்ள பண்பகத்திரிகள் இரண்டும் ஒன்றை ஒன்று தோற்றத்தில் முற்றிலும் ஒத்திருக்கும்.

செல் பிரிவின்பொழுது கருவில் ஏற்படும் மாறுதல்களுக்குத் தக்க வாறு, ஐந்து நிலைகளில் பிரிவை விவரிக்கலாம். அவையாவன: (i) ஓய்வு நிலை[7] (ii) வடிநிலை[8] (iii) கூடுநிலை[9] (iv) பிரிநிலை[10] (v) மறைநிலை[11] என்பனவாகும்.

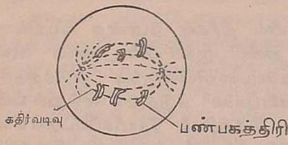


படம் 13-2. செல் பிரிவின் ஓய்வுநிலை

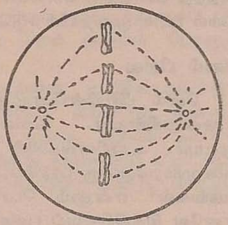
ஓய்வு நிலையில் உள்ள செல்களை நுண் பெருக்கியால் பார்க்கும் பொழுது செல்லின் கருவில் பண்பகத் திரிகளின் வடிவம் புலப்படுவ தில்லை. ஏனெனில் திரிகள் உப்பி, பரவிக்கிடக்கின்றன. எனவே செல்லும் கருவும் மட்டுமே தென்படுகின்றன.

---

1. microscope 2. generation 3. hereditary characters
4. genes 5. chromosomes 6. in pairs
7. resting phase or interphase 8. prophase
9. metaphase 10. anaphase 11. telophase



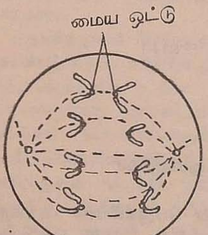
படம் 13-3. ஸெல் பிரிவின் வடிநிலை



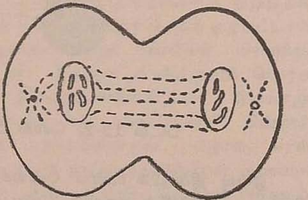
படம் 13-4. ஸெல் பிரிவின் கூடுநிலை

வடிநிலையில் சிறுசிறு சுருள் துண்டங்கள் போன்ற வடிவங்கள் கருவில் தோன்ற ஆரம்பிக்கின்றன. இவை பண்பகத்திரிகளாக முடிவில் உருமாற்றம் அடைகின்றன. இதற்கிடையில் கருவைச் சுற்றி அரணாக இருந்த கருசவ்வு[1] மறைகிறது. ஸைட்டோபிளாஸத்தில் புரோட்டீன் பொருளாலான (நூற்கதிர் போன்ற) கதிர்வடிவு[2] ஒன்று தோன்றி வளரத் தொடங்குகிறது.

கூடுநிலையில் கதிர்வடிவில் உள்ள இழைகளின் மையத்தில் பண்பகத்திரிகள் நெருங்கி ஒழுங்கான முறையில் ஒட்டிக்கொள்கின்றன.



படம் 13-5. ஸெல் பிரிவின் பிரிநிலை



படம் 13-6. ஸெல் பிரிவின் மறைநிலை

அடுத்து, பிரிநிலையில் ஒவ்வொரு பண்பகத்திரியும் இரண்டு பண்பக இழைகளாகப்[3] பிரிகிறது. இந்த இரண்டு இழைகளும்

1. nuclear membrane 2. spindle 3. chromatids

இணைந்த மைய ஒட்டும்[1] பிளவுபட, ஒரு பண்பகத்திரியிலிருந்து இரண்டு பண்பகத்திரிகள் பெறப்படுகின்றன. இவ்வாறு பிரிந்த பண்பகத்திரிகள் பக்கத்திற்கு ஒன்றாக கதிர்வடிவின் உதவியால் எதிரெதிர் முனைகளுக்கு ஈர்க்கப்படுகின்றன. இத்தகைய பாகப் பிரிவினை முறையால் சேய் ஸெல்கள் இரண்டும் சம அளவில் பண்பகத் திரிகளைப் பெறுகின்றன. மேலும் தாய் ஸெல்லில் இருந்த அதே எண்ணிக்கையுடைய திரிகள், சேய் ஸெல்லிலும் தொடர்ந்து இருந்து வருகின்றன.

கடைநிலையான மறைநிலையில் கதிர்வடிவு மறைகிறது. எதிரெதிர்ப் பக்கங்களில் உள்ள பண்பகத்திரிகளை ஸைட்டோபிளாஸம் சூழ்ந்துகொண்டு, தன்னையும் இரண்டு பாகங்களாகப் பிரித்துக்கொள்கிறது. இப்புதிய இரண்டு பாகங்களுக்கும் கரு சவ்வுகள் அமைக்கப் படுகின்றன.

இப்பொழுது புதிதாக இரண்டு ஸெல்கள் தோன்றிவிட்டன.

மிட்டோஸிஸ்[2]

பாலின ஸெல்கள்[3] தவிர, மற்ற எல்லா வகை ஸெல்களும் பிரிவுக்குள்ளாகும்பொழுது தாய், சேய் ஸெல்களில் தொடர்ந்து பண்பகத்திரிகளின் எண்ணிக்கை ஒரே அளவில் இருக்கும் படி, மேற்கூறிய வண்ணம் பிரிவு நடைபெறுகிறது. இத்தகைய ஸெல் இரட்டிப்பு முறையில், ஒரு ஸெல்லில் தோன்றும் பண்பகத்திரிகளின் முழு எண்ணிக்கையும், அடுத்தடுத்துத் தோன்றும் ஸெல்களின் பண்பகத்திரிகளின் முழு எண்ணிக்கையும், மாறுபடாமலேயே இருந்துவரும். இந்தவகை ஸெல் இரட்டிப்பு முறையை ஆங்கிலத்தில் மிட்டோஸிஸ் என்பர். இதைப் படம் 13–7 விளக்குகிறது.

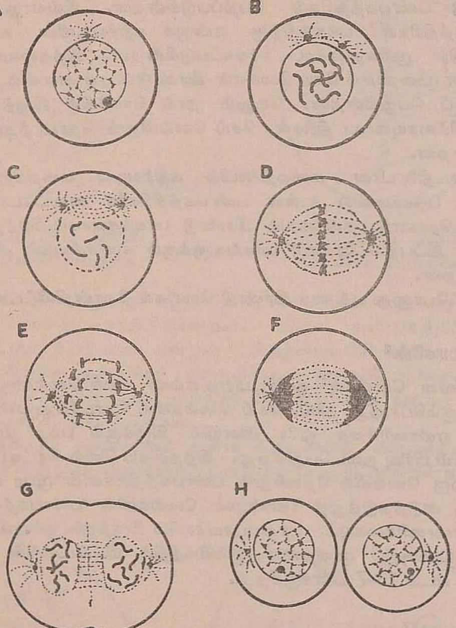
மியோஸிஸ்[4]

ஓர் உயிரின் பாலின ஸெல்கள் தவிர மற்றவகை ஸெல்கள் யாவும் மிட்டோஸிஸ் முறையில்தான் பெருகுகின்றன. பாலின ஸெல்கள், பெருகும் வகையில் சிறிது வேறுபடுகின்றன. பாலின ஸெல்கள் பிரியும்பொழுது பண்பகத்திரிகளின் எண்ணிக்கையில் மாறுதல் ஏற்படுகிறது.

பாலின ஸெல்கள் இரட்டிப்பால் விருத்தியடைந்து விந்து ஸெல்களாகவோ, முட்டை ஸெல்களாகவோ முடிவில் எவ்வாறு பரிணமிக்கின்றன என்பதைப் பார்ப்போம். மனித ஸெல்லில் 46 பண்பகத் திரிகள் உள்ளன. பாலின ஸெல்களை உற்பத்தி செய்யும் ஸெல்களும்

---

1. centromere 2. mitosis 3. germ cells
4. meiosis



படம் 13-7. மிட்டோஸிஸ்

A. ஸெல்லின் ஓய்வுநிலை B. ஸெல்லின் வடிநிலை : பண்பகத்திரிகள் மைய ஒட்டுடன் கூடிய நிலையில் காணப்படுதல் C. ஸெல்லின் கூடுநிலை : கதிர்வடிவு உண்டாதல் D. கூடுநிலையில் கதிர் வடிவுக்கிடையில் பண்பகத்திரிகள் E. ஸெல் பிரிநிலை : பண்பகத்திரிகள் இரண்டிரண்டாகப் பிரிதல் F. பிரிந்த பண்பகத்திரிகள் கதிர்வடிவின் இருபுறமும் ஏகுதல் G. ஸெல்லின் மறைநிலை : தாய் ஸெல் மறைந்து புதிய ஸெல்கள் தோன்றத் தொடங்குதல் H. தாய் ஸெல் இரு ஸெல்களாகப் பிரிதல்.

இதே அளவு பண்பகத்திரிகளைக் கொண்டவை. இந்த உற்பத்தி ஸெல்கள் இரண்டாகப் பிரிவதனுல் தோன்றும் புதிய ஸெல்கள் முறையே 23 பண்பகத்திரிகளை மட்டுமே பெற்றிருக்கும். அதாவது தாய் ஸெல்லின் பண்பகத்திரிகளின் இயல்பான எண்ணிக்கையில் பாதி யளவையே சேய் ஸெல்கள் தங்களுடைய பங்குகளாகப் பெறுகின்றன. (ஆனுல் மிட்டோஸிஸ் பிரிவில் தாய் ஸெல்லில் 46 பண்பகத்திரிகள் இருப்பின்,சேய் ஸெல்களிலும் அதே அளவு இருந்து வரும்.) 23 பண்பகத்திரிகளைப் பெற்ற ஸெல்களும் மேற்கொண்டு பிரியும்பொழுது மிட்டோஸிஸ் முறையில் பிரிந்து விந்து ஸெல்களாக மாறுகின்றன. எனவே மிட்டோஸிஸ் முறையில் பிரியும்பொழுது தோன்றும் புதிய ஸெல்களில் பண்பகத்திரிகளின் எண்ணிக்கை 23 ஆகவே இருந்துவரும். பாலின ஸெல்களின் இயல்பான பண்பகத்திரிகளின் எண்ணிக்கையிலிருந்து, பாதியளவு மட்டுமே விந்து ஸெல்களில் தோன்றுவதற்குக் காரணமான இந்தப் பிரத்தியேக ஸெல் பிரிவு முறையை ஆங்கிலத்தில் மியோஸிஸ் என்பர். படம் 13-8 இதை விளக்குகிறது. கலவியினுல், பின்பு ஆண் விந்துவும் பெண் முட்டையும் இணையும்பொழுது உண்டாகும் சினைப் பட்ட கருமுட்டை ஸெல்லில்[1] திரும்பவும் இயல்பான பண்பகத் திரிகளின் எண்ணிக்கை தோன்றிவிடும்.

கதிர்வீச்சும் ஸெல்லும்

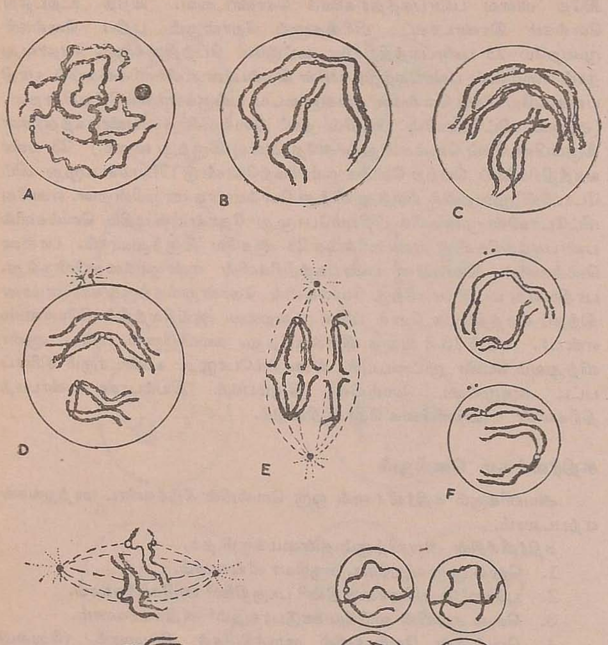
அயனிக்கும் கதிர்வீச்சால் ஒரு ஸெல்லில் கீழ்க்கண்ட மாற்றங்கள் ஏற்படலாம்.

கதிர்வீச்சின் அளவிற்கும் தன்மைக்கும் தக,

1. ஸெல் முழுவதுமோ, கருவோ வீங்கலாம்.
2. புரோட்டோபிளாஸத்தின்[2] பாகுநிலை[3] அதிகரிக்கலாம்.
3. ஸெல் சவ்வின் வழியே ஊடுபரவுதல்[4] அதிகமாகலாம்.
4. ஸெல்லின் வேலைகளில் குறுக்கீடுகள் நிகழலாம். (ஸெல்லிலிருந்து ஹார்மோன்கள்[5] போன்றவைகளைச் சுரக்கச் செய்தல், என்ஸைம்களின்[6] கிரியை ஆற்றலை அதிகரிக்கவோ குறைக்கவோ செய்தல் போன்றன.)
5. கதிர்வீச்சால் சிதைந்த ஸெல்களும், மற்ற உயிரியல் கழிவுப் பொருள்களும் ரத்த தந்துகிகளை[7] அடைத்து ரத்த ஓட்டத்தைப் பாதிக்கலாம்.
6. கதிர்வீச்சிற்குப் பிறகு முதல் ஸெல் இரட்டிப்பு நிகழ்ந்த பின், அடுத்தடுத்து இரட்டிப்புச் செய்யும் இடைவெளிக்காலம் தாமதப் படலாம்.

---

1. zygote 2. protoplasm 3. viscosity
4. osmosis 5. hormones 6. enzymes
7. blood capillaries



படம் 13-8. மியோஸிஸ்

A. பாலின ஸெல்லின் ஓய்வுநிலை B. பாலின ஸெல்லின் வடிநிலை C. பாலின ஸெல்லின் பண்பகத்திரிகள் இரட்டித்தல் D. கதிர்வடிவு உண்டாதல் E. மியோஸிஸ் பிரிநிலை F. மியோஸிஸ் முதற்படி—இரண்டு ஸெல்கள் உண்டாகுதல் G. மியோஸிஸ் இரண்டாம் பிரிநிலை H. மியோஸிஸ் இறுதிநிலை : ஒரு இன விருத்தி ஸெல்லிலிருந்து நான்கு ஸெல்கள் ஏற்படுதல்.

7. ஒன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட இரட்டிப்பு நிகழ்ந்த பின் ஸெல்கள் மடியத் தொடங்கலாம்.

8. பல இரட்டிப்புகள் தொடர்ந்து நடந்து, அதன்பின் சேய் ஸெல்கள் மடியத் தொடங்கலாம்.

9. ஸெல் முழு முதிர்ச்சி அடையு முன்னரே இரட்டிப்புச் செய்யத் தொடங்கி விடலாம்.

10. இரட்டிக்கும் தன்மை உடனேயே அறவே அழிந்துபடலாம். (ஸெல்லின் வளர்சிதை மாற்றம் தற்காலிகமாக நடப்பினும், இனப் பெருக்கம் செய்யும் திறனை நிரந்தரமாக ஸெல் இழந்து விடக்கூடும்.)

11. அபரிமிதமான கதிர்வீச்சால் ஸெல்லின் புரோட்டீன் பொருள் கள்[1] தோய்ந்து[2] ஸெல்லே மடிந்து விடலாம்.

தனித்துவ ஸெல்களைவிட, தனித்துவம் பெறாத ஸெல்கள் கதிர் வீச்சால் மிக எளிதில் பாதிக்கப்படுகின்றன. அதுபோலவே தொடர்ந்து ஸெல் இரட்டிப்பால் பெருகிக்கொண்டிருக்கும் பாலின ஸெல்கள் மற்றவகை ஸெல்களைவிட மிக எளிதில் பாதிக்கப்படுகின்றன.

ஸெல்லிற்கு ஏற்படும் மேற்கூறிய சேதங்கள் கதிர்வீச்சின் அள விற்கும், ஸெல்லின் தன்மைக்கும் தக ஒன்ருகவோ பலவாகவோ இருக்கும்.

கதிர்வீச்சும் பண்பகமும்

நீள்கால விளைவுகள்[3] :

பண்பகத்திரியில் ஒவ்வொரு பண்பகமும் தனக்கே உரித்தான ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் அமைந்திருக்கும். ஒவ்வொரு பண்பகமும் அந்த உயிரின் பிரத்தியேக பாரம்பரிய பண்பை நிர்ணயிக்கிறது. கண்களின் நிறம், வழுக்கை விழும் தன்மை, முடியின் நிறம் ஆகிய ஒவ்வொரு பண்பையும் நிர்ணயிக்க வெவ்வேறு பண் பகங்கள் செல்வாக்குப் பெற்றுள்ளன. பெற்ருேர்களிடமுள்ள இத் தகைய பண்பகங்கள் அவர்களின் பாலின ஸெல்கள் மூலம் குழந்தை களுக்குச் சென்று சேருகின்றன. பெற்ருேர்களிடமிருந்து பெறப்பட்ட இந்த பண்பகங்கள்தான், பிறந்த குழந்தையின் பண்புநலங்களைத்[4] தீர்மானிக்கின்றன. புதிய உயிரில் ஒரு குறிப்பிட்ட பண்பகம், அதன் பெற்ருேரின் பண்பக அமைப்பிலிருந்து சிறிது மாறுபட்டிருந்தாலும் அதன் செல்வாக்கிற்கு உட்பட்ட அந்த குறிப்பிட்ட குணம் வேறுபட்டு விடும். பண்பகங்களின் அடிப்படை மூலக்கூறுகளில் ஏற்படும் இத் தகைய மாறுதல்களை, பிறழ்ச்சி[5] என்றும், அத்தகைய பிறழ்ச்சியின் காரணமாகத் தோன்றும் மாறுபட்ட குணமுடைய உயிரை, பிறழி[6]

---

1. protein 2. coagulate 3. long term effects
4. characteristics 5. mutation 6. mutant

என்றும் கூறுவர். பிறழ்ச்சிகள் பொதுவாகப் புதிய உயிருக்குத் தீமை பயப்பனவாகவே அமைகின்றன. சில பிறழ்ச்சிகளால் அவ்வுயிருக்கு அனுகூலங்களும் கிடைக்கலாம்.

பண்பகத்திரி முறிதல்[1]

உயிரின் அடிப்படைப் பண்புகளை நிர்ணயிப்பன பண்பகத்திரிகளாகும். எனவே அவற்றில் உள்ள பண்பகங்களின் பிணைப்பில் ஏற்படும் சிறு நிரந்தர மாற்றங்கள் பாரம்பரியப்பண்பு மாற்றங்களுக்கே வழிவகுத்து விடுகின்றன.

பண்பகத்திரிகளின் வடிவமும், பண்பக மூலக்கூறுகளின் பிணைப்பும், கதிர்வீச்சின் அயனிக்கும் தன்மையால் மிக எளிதில் பாதிக்கப்படுகின்றன. எந்த வகையில் கதிர்வீச்சு அவற்றிற்குச் சேதத்தை விளைவிக்கிறது என்பதை இன்றளவும் சரியாகக் கூறமுடியவில்லை. கதிர்வீச்சுக்குள்ளான பின் பண்பகத்திரிகளின் வடிவங்களில் ஏற்படும் மாறுதல்களை மட்டும் இங்கு விவரிப்போம்.

தற்காலிக, நிரந்தர மாற்றங்கள்[2]

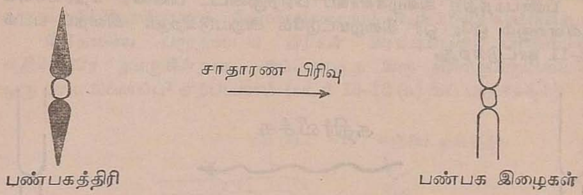
கதிர்வீச்சுக்குள்ளான செல்லின் பண்பகத்திரியில் ஏற்படும் மாற்றங்கள் தற்காலிகமாகவோ நிரந்தரமானவையாகவோ இருக்கலாம். கதிர்வீச்சு பண்பகத்திரிகளை முறிக்கிறது. இவ்வாறு முறிந்துபோன முனைகள் சாதகமான சூழ்நிலையில் முன்பு இருந்தது போன்றே திரும்பவும் இணைந்துவிடலாம். அவ்வாறு இணைந்துவிட்டால் பழுது சரிபார்க்கப்பட்டுவிட்டது போன்றதாகும். எனவே இது தற்காலிக மாற்றமாகும். மாறாக வெவ்வேறு விதமான பிணைப்புகள் ஏற்பட்டு புதிய வடிவம் கொண்ட பண்பகத்திரிகள் தோன்றலாம். அவை பிணைப்புக்கு முன்பு இருந்த திரிகளின் வடிவத்திலிருந்து மாறுபட்டு விடுவதால் நிரந்தர மாற்றங்களாகி விடுகின்றன.

பண்பகத்திரியில் ஏற்படும் முறிவின் தன்மை, அது இரண்டு இழைகளாகப் பிரியும் முன்னர் கதிர்வீச்சால் தாக்கப்பட்டதா அல்லது பிரிந்த பின்னர் தாக்கப்பட்டதா என்பதைப் பொறுத்து மாறுபடுகிறது. ஒரு பண்பகத்திரி சாதாரணமாக இரண்டு பண்பக இழைகளாகப் பிரிவதைப் படம் 13–9 காட்டுகிறது.

கதிர்வீச்சால் முறிவு ஏற்படுவதை படம் 13–10இன் மேல்பகுதி காட்டுகிறது. எக்ஸ் கதிர்கள் முதலில் பண்பகத்திரிகளை முறித்து விடுகின்றன. பின்பு இத்திரிகள் பிளக்கும்பொழுது முறிபட்ட பண்பக இழைகள் தோன்றுகின்றன.

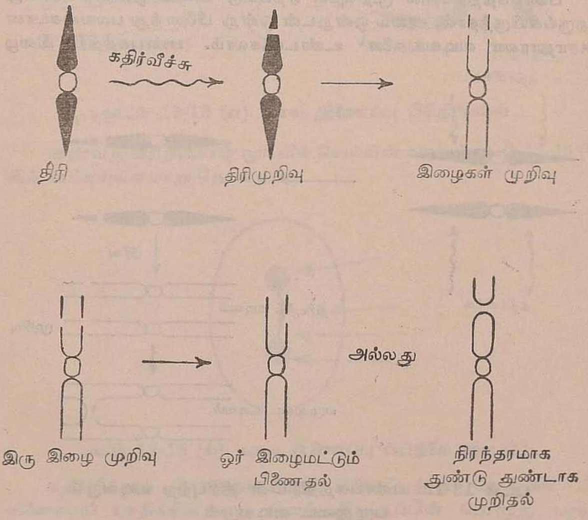
---

1. chromosome breakage
2. temporary and permanent changes



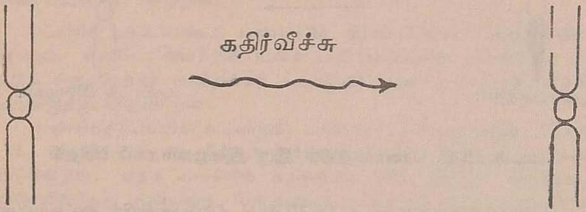
படம் 13-9. பண்பகத்திரி இரு இழைகளாகப் பிரிதல்

முறிந்த இழைகள் படம் 13–10 இன் கீழ்ப்பகுதியில் காட்டியுள்ள வாறு பிணையலாம்.



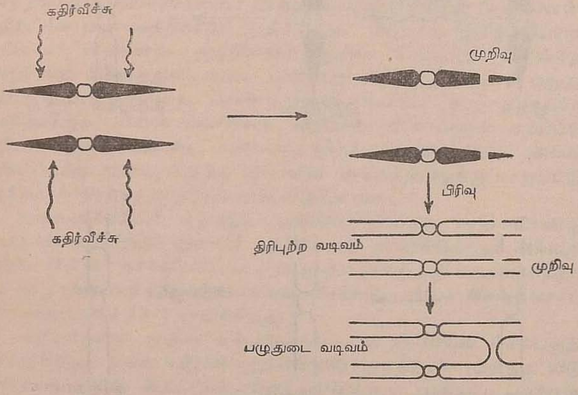
படம் 13-10. கதிர்வீச்சும் பண்பகத்திரி முறிவுகளும்

பண்பகத்திரி இழைகளாகப் பிரிந்துவிட்ட பின்னர் கதிர்வீச்சுக் குள்ளானல் ஒரே ஓர் இழைமட்டுமே அறுபடுகிறது. இதைப் படம் 13–11 காட்டுகிறது.



படம் 13–11. கதிர்வீச்சால் பண்பக இழைமுறிவு

பண்பகத்திரிகளில் முறிவுகள் ஏற்பட்டு அவை ஒன்றையொன்று நெருங்கியிருந்தால், அவை ஒன்றுடன் ஒன்று பிணைந்து பலவகையான அசாதாரண வடிவங்களை[1] உண்டாக்கலாம். பண்பகத்திரி இழை

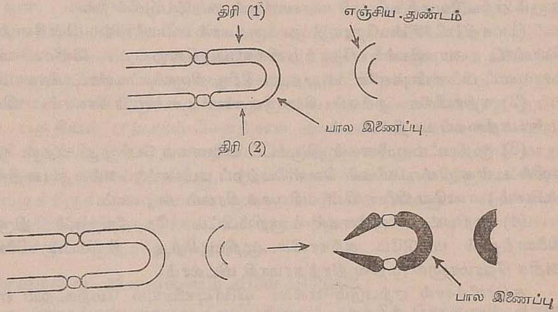


படம் 13-12. பண்பகத்திரியின் திரிபுற்ற வடிவமும் பழுதுடை வடிவமும்

1. abnormal structures

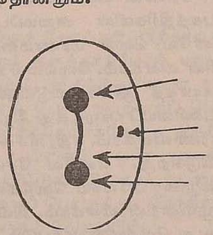
களாகப் பிரியும் முன்பே முறிந்து உடனே பிணையுமானல் பழுதுடை வடிவமும்[1] தோன்றலாம். இவ்விரண்டையும் படம் 13–12 காட்டுகிறது.

இத்தகைய பழுதுடைய திரிகள் இரட்டிப்பின் பிரிநிலையில் எதிரெதிரே நகருகின்றன. அப்பொழுது இரு திரிகளுக்குமிடையே ஒரு பால இணைப்பு[2] ஏற்படலாம் (படம் 13–13 (a) ஐப் பார்க்கவும்).



படம் 13-13 (a). பால இணைப்பு பிரிநிலையில்

அதாவது பிரிநிலையின் முடிவில் ஸெல்லின் வடிவம் படம் 13–13 (b) இல் காட்டியுள்ளவாறு தோன்றும்.



படம் 13-13 (b). பால இணைப்பு பிரிநிலை முடிவில்

கதிர்வீச்சால் தோன்றும் பால இணைப்புக்கள் ஸெல்லின் பிரிவினையைப் பாதிக்கின்றன. ஸெல் இரட்டிப்பின் பொழுது பாலம்

1. defective structure 2. bridge formation

கட்டியது போக, பயன்படுத்தப்படாமல் வெளியே தள்ளப்பட்ட எஞ்சிய திரிகளின் பாகங்கள், மூன்ருவது நுண்கரு[1] ஒன்றை அமைத்து விடுகின்றன. இதனுல் ஸெல்லின் நன்னிலை பாதிக்கப்பட்டுவிடுகிறது.

முறிவுகளும் மாற்றங்களும் ஏற்படக் காரணங்கள்

கதிர்வீச்சால் பண்பகத்திரி முறிவுகளும், பிழையான பிணைப்புக்களும் ஏற்படுவதற்குப் பல காரணங்கள் கூறப்படுகின்றன.

(1) கதிர்வீச்சின் நேரடித் தாக்குதலால் ஸெல்லில் மின்னேற்றம் கொண்ட அயனிகள்[2] தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. இவை மற்ற ரசாயனப் பிணைப்புக்களை[3] அறுத்து, திரிமுறிவுகளை உண்டாக்கலாம்.

(2) கதிர்வீச்சு நச்சுப் பொருள்களை[4] உண்டாக்கலாம். இவை பண்பகத்தைப் பாதிக்கலாம்.

(3) முறிபட்ட முனைகள் திரும்பப் பிணையும் பொழுது அதன் ஓரங்களில் உள்ள பண்பகங்கள் வெளியேற்றப் படலாம்; அல்லது பாதிக்கப் படலாம்; எனவே பிணைவின் வரிசைக் கிரமம் மாறலாம்.

(4) முறிபட்ட முனைகள் குறிப்பிட்ட நேரத்திற்குள் திரும்ப இணைந்தால் மட்டுமே தற்காலிக முறிவாகிறது. திரும்பப் பிணைய அதிக நேரமானுல் முறிவு நிரந்தரமாகி விடலாம்.

கதிர்வீச்சால் ஏற்படும் எல்லா விளைவுகளையும் மேற்கூறிய எந்த ஒரு கொள்கையும் திருப்திகரமாக விளக்குவதாக இல்லை.

ஸெல்லின் இறப்பு

கதிர்வீச்சால் ஸெல்கள் மடிவது எப்படி என்ற மற்ருெரு சிக்கலான கேள்விக்கு இன்று வரை சரியான விளக்கங்கள் தரப்படவில்லை.

கதிர்வீச்சு பண்பகத்திரிகளின் அமைப்புக்களில் மாற்றங்களை உண்டாக்குகிறது. எனவே ஸெல் மரணமடைகிறது என்பது ஒரு விஞ்ஞானக் குழுவினரின் விளக்கம். ஸெல்லில் உள்ள என்ஸைம்களின் கிரியை ஆற்றலை மிகையாகத் தூண்டிவிடுவதாலோ, மந்தப்படுத்துவதாலோ ஸெல்லின் சீர்பணியைப் பாழடித்து இறப்பிற்கு வழிவகுக்கிறது என்பது மற்ருெரு சாராரின் விளக்கம். கதிர்வீச்சு ஸெல்லின் இரட்டிக்கும் திறனை அழித்து விடுகிறது. எனவே சேய் ஸெல்கள் தோன்ற முடியாமல் அந்தத் தலைமுறையிலேயே ஸெல்கள் மடிந்து விடுகின்றன என்பது வேறு ஒரு குழுவினரின் விளக்கம். இவ்வாறு பல விளக்கங்கள் தரப்பட்டாலும் ஒன்ருவது ஸெல்லில் ஏற்படும் எல்லா விளைவுகளையும் விளக்குவதாக இல்லை.

நுண் பெருக்கியால் காணும்பொழுது பண்பகத்திரி முறிவதும், பிழைபடப் பிணைவதும் கவனத்தைக் கவருகின்றன என்பதற்காக திரி

---

1. micronucleus
2. ions
3. chemical bonds
4. toxic substances

களின் பழுதுகளே செல்களின் மரணத்திற்குக் காரணம் எனக் கூறிவிட முடியுமா? நுண் பெருக்கியால் பார்க்கும் பொழுது எத்தகைய தெளிவான வடிவமும் இன்றி, குழம்பிய பாகுப் பொருளாகக் காட்சி யளிக்கும், அந்த சைட்டோபிளாஸத்தில் தான் எண்ணற்ற உயிரியற் பொருள்கள் தயாரிக்கப்படுகின்றன; சக்தியாக மாற்றப்படுகின்றன. அழிந்துவிட்ட பாகங்களை ஈடுசெய்ய நடவடிக்கைகள் எடுக்கப்படு கின்றன. அங்கே கதிர்வீச்சு எத்தகைய சேதங்களை விளைவிக்கிறது என்பதையும் அறிந்து கொண்டாக வேண்டும். சைட்டோபிளாஸத்தின் புதிர்களை இன்றளவும் முழுமையாக அறிந்துகொள்ள முடியாத நிலையில், அதில் ஏற்படும் கட்புலனாகாத கோளாறுகள் செல்லின் இறப்பிற்குக் காரணமாக ஏன் இருக்க முடியாது? ஆகையால் செல்லின் ஒரு குறிப் பிட்ட பகுதியில் ஏற்படும் சேதத்தால் தான் செல் மரணமடைகிறது எனக் குறிப்பிட்டுக் கூறுவதைவிட செல் முழுவதிலும் ஏற்படும் மாறு தல்களையும் ஆராய்ந்தறிந்து, அவை செல்லின் இறப்பிற்கு எவ்வாறு வழிவகுத்திருக்கக்கூடும் என முடிவு கட்டுவதே நல்லது. அதன்பின் தான் கதிர்வீச்சால் உயிர்கள் ஏன் மடிகின்றன என்ற அடிப்படையான கேள்விக்கும் விடையிறுக்க முடியும்.

கதிர்வீச்சின் அளவுகளும் விளைவுகளும்:

உயிரினங்கள் ஓரளவு வெப்பத்தைத் தாங்கிக் கொள்ளும் திறன் படைத்தவை; குறைந்த அளவு புறஊதாக் கதிர்களையும்[1] அவற்றால் பொறுத்துக் கொள்ள முடியும். ஆனால் அதே உயிரினங்களால் கதிர் வீச்சைத் தாக்குப் பிடிக்க முடிவதில்லை. மேலும் கதிர்வீச்சுக்குள்ளாகிக் கொண்டிருப்பதை, ஐம்புலன்களின் உதவியால்கூட கண்டு கொள்ள முடிவதில்லை.

கதிர்வீச்சின் உடனடிச் சேதங்கள், பிற்கால உடலியல் விளைவுகள், இனத்திற்கும் வீச்சிற்கும் தகுந்தாற்போல் மாறுபடும். கதிர்வீச்சின் தன்மை, ஊடுருவிய ஆழம், வீச்சுக்குள்ளான உடற்பரப்பு, கிரகிக்கப் பட்ட கதிர்வீச்சின் அளவு போன்றவற்றைப் பொறுத்து, சிறுகச்சிறுக சேர்ந்து பெருகிய விளைவுகளாகவோ திடீர் விளைவுகளாகவோ தோன்றும். மேலும் உயிரினம் ஒரே தடவையில் கதிர்வீச்சுக் குள்ளானதா அல்லது விட்டுவிட்டுப் பல தடவைகளில் கதிர் வீச்சுக் குள்ளானதா என்பவற்றைப் பொறுத்து, கோளாறுகளின் தன்மையும், அவை தோன்றும் நாட்களும் வேறுபடும்.

குறை கூற்று அளவும்[2] கூற்று அளவும்[3] மிகு கூற்று அளவும்[4]

ஒரு செல் உயிரினங்கள் மிக அதிகமான அளவில் கதிர்வீச்சைத் தாங்கிக் கொள்ளக் கூடியன. பாலூட்டிகளுக்கு[5] மிகக் குறைந்த

---

1. ultraviolet rays 2. sublethal dose 3. lethal dose
4. supralethal dose 5. mammals

அளவே கூற்றுவன் ஆகிவிடும். பூச்சியினங்கள்[1] இந்த இரு எல்லைகளுக்கும் இடைப்பட்ட ஓர் அளவைத் தாங்கக் கூடியன. முடிவில் விளைவு ஒன்றே என்றாலும் வெவ்வேறு உயிரினங்களுக்கு வெவ்வேறு அளவு கதிர்வீச்சு ஏன் தேவைப்படுகிறது என்பதற்கு இன்றளவும் விளக்கம் தரப்படவில்லை.

கூற்று அளவு: முழு உடற்பரப்பும் கதிர்வீச்சுக்குள்ளாகும் பொழுது, பாலூட்டிகளுக்குப் பொதுவாக 200 ராண்ட்ஜனிலிருந்து (200 ரா.) 800 ராண்ட்ஜன் வரை (800 ரா.) கதிர்வீச்சு மரண அளவாக அமைகிறது. 100 சுண்டெலிகளை 600 ரா. கதிர்வீச்சுக்குள்ளாக்கினால், அவைகளில் சுமார் 50 சுண்டெலிகள் 30 நாட்களில் இறந்துவிடும். அதாவது 600 ரா. கதிர்வீச்சு, எடுத்துக்கொண்ட உயிரினங்களின் எண்ணிக்கையில் 50 சதவிகிதத்தை[2] 30 நாட்களில் மரணமடைய வழி வகுக்கும் என்பதாம். இந்த 600 ரா. அளவு கதிர்வீச்சின் மரண விளைவைச் சுருக்கமாக கூ. அ. 50/30 நா. (கூற்று அளவு 50/30 நாட்கள்[3]) என்று குறிப்பிடுவர்.

அட்டவணை 13-1 இல் வெவ்வேறு உயிரினங்களுக்கு மரணத்தை ஏற்படுத்தப் போதுமான கூற்று அளவு 50/30 நாட்கள் தரப்பட்டுள்ளன.

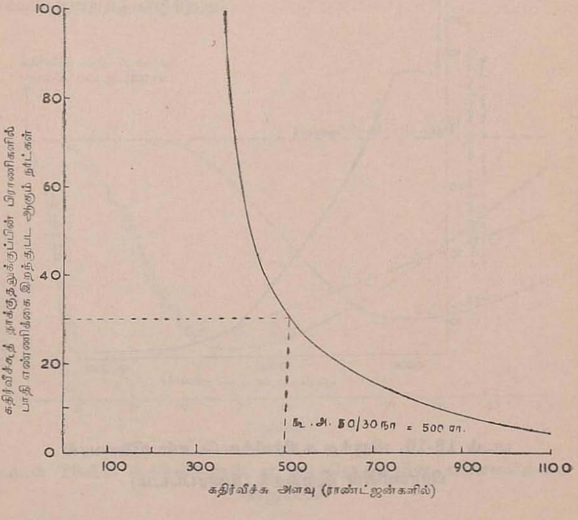
அட்டவணை 13-1

உயிரினம்	கூ. அ. 50/30 நா. ராண்ட்ஜனில்
பாலூட்டிகள்	200—1000
பன்றி	275
நாய்	325
சுண்டெலி	400—600
மனிதன்	400—700
குரங்கு	500
எலி	600—700
தவளை	700
ஆமை	1500
நத்தை	10,000
யீஸ்ட்[4]	30,000
பூச்சிகள்	60,000
அமீபா[5]	100,000

ஓர் உயிரினத்தின் கூற்று அளவு 600 ரா. என்பதாக வைத்துக் கொள்வோம். இந்த அளவு கதிர்வீச்சு மொத்தமாக ஒரே நிமிடத்தில்

1. insects 2. percentage 3. L D 50/30 (lethal dose 50/30 days) 4. yeast 5. amoeba

அதன் உடல் முழுவதும் படும்படி தரப்பட்டாலும், நிமிடத்திற்கு 10 ரா. வீதம் ஒரு மணி நேரத்தில் தரப்பட்டாலும், அதனுல் ஏற்படும் மரண விகிதத்தில் மாற்றம் அதிக அளவில் ஏற்படுவதில்லே. ஆனுல் அதையே இன்னும் மிகவும் குறைத்து, உதாரணமாக, ஒரு நிமிடத்திற்கு 1 ரா. வீதம் 10 மணி நேரம் கதிர்வீச்சுக்கு உட்படுத்தினுல் அந்தக் குறிப்பிட்ட உயிரினம் 30 நாட்களில் இறப்பதற்குப் பதிலாக இன்னும் அதிக நாட்கள் வாழ்ந்து, பிறகு மடியும். அளவு மேலும் குறைக்கப்பட்டு, மணிக்கு 1 ரா. வீதம் கொடுக்கப்பட்டால், அந்த உயிரினம் கதிர்வீச்சை ஓரளவு தாக்குப்பிடிக்கக்கூட முடியும்; அவ்வளவு சீக்கிரம் இறந்து படாது. ஆனுல் அதன் ஆயுட்காலம் வெகுவாகக் குறைந்துவிடும்.

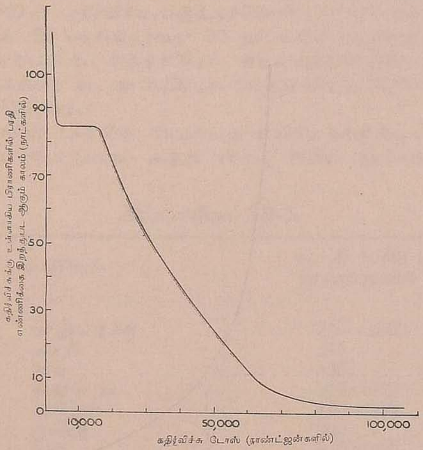


படம் 13–14. கதிர்வீச்சு அளவும் சுண்டெலி இறப்பும் (வரைப்படம்)

வெவ்வேறு அளவு கதிர்வீச்சு சுண்டெலிகளுக்கு ஒரேதடவையில் தரப்பட்டு, அவைகளில் 50 சதவிகிதம் இறப்பதற்கு எடுத்துக்கொண்ட நாட்களேக்கொண்டு வரையப்பட்ட வரைப்படத்தைப் படம் 13–14

காண்பிக்கிறது. இதிலிருந்து சுண்டெலிக்கு கூ. அ. 50/30 நா. =500 ரா. எனத் தெரியவருகிறது.

மிகு கூற்று அளவு : கூற்று அளவுக்குமேல் கதிர்வீச்சு அதிகமானால் மரணம் ஏற்படுவதற்கு முன்பு உள்ள இடைக்காலத்தில் அதிகம் மாற்றம் ஏற்படுவதில்லை. ஆனால் கூற்று அளவுபோல் பத்து மடங்கு கதிர்வீச்சுக்கு உட்பட்டால் உயிரினம் சில மணி நேரத்திலேயே இறந்துவிடும். இதை படம் 13–15 விளக்குகிறது.



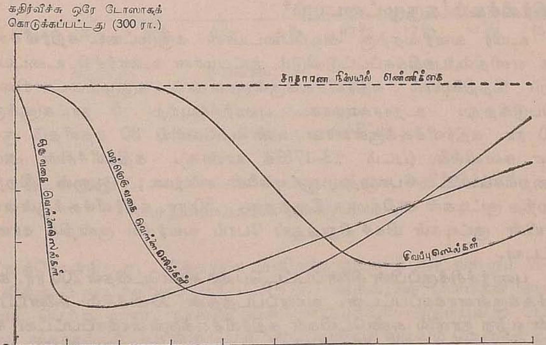
படம் 13-15. மிகுந்த கதிர்வீச்சு டோஸ் விளைவால் பிராணிகள் இறத்தல் (வரைப்படம்)

குறை கூற்று அளவு : மரணம் ஏற்படுத்தாத அளவு கதிர்வீச்சு தரப்பட்டால் அதனைப் பொதுவாக குறை கூற்று அளவு என அழைக்கலாம். குறை கூற்று அளவினால் ஏற்படும் விளைவுகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு பிரிக்கலாம்.

குறை கூற்று அளவு விளைவுகள்

- தனக்குறு விளைவுகள்[1]
  - உடனடி விளைவுகள்[3]
  - தாமத விளைவுகள்[4]
- பாரம்பரிய விளைவுகள்[2]

உடனடி விளைவுகள் : குறை கூற்று அளவு தொடர்ச்சியாக உடலில் பாய்வதால் எரிதிமா[5] என்ற தோல் வியாதி உண்டாகிறது. இதனுல் தோல் சிவந்து, தடித்து, கட்டிகள் தோன்ற ஆரம்பிக்கின்றன. இவை எளிதில் குணமாகா. தவிரவும் ரத்தத்தில் உள்ள வெள்ளை, சிகப்பு செல்களின்[6] எண்ணிக்கையும் பாதிக்கப்படுகிறது. குறிப்பாக வெள்ளை செல்களின் எண்ணிக்கையானது, கதிரூட்டலுக்குப்பின் மிகவும் குறைந்துவிடுகிறது.



படம் 13-16. கதிர்வீச்சால் குருதி செல்களின் எண்ணிக்கை மாறுபடல்

ஒரே தடவையில் 300 ரா. கதிர்வீச்சுக்குள்ளானபின், குருதி செல்களில் ஏற்பட்ட விகித மாற்றங்கள் படம் 13–16 இல் வரைப்படமாகக் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன.

---

1. somatic effects 2. genetic effects 3. immediate effects
4. delayed effects 5. erythema 6. white and red cells

தாமத விளைவுகள் : கதிர்வீச்சுக்குள்ளாகியபின் சிறிதுகாலம் கழித்து லுகிமியா[1] என்ற குருதிப் புற்றுநோய் தோன்றுவதற்கு வாய்ப்புக்கள் உள்ளன. மேலும் கழலை[2], புற்றுநோய்[3], சோகை[4] போன்ற நோய்களும் தோன்றலாம். உடனடி, தாமத விளைவுகள் கதிர்வீச்சுக் குள்ளான உயிரினத்தை மட்டுமே பொதுவாக பாதிக்கும். அவ்வுயிரினத்தின் சந்ததிகளைப் பாதிப்பதில்லை.

பாரம்பரிய விளைவுகள் : குறைகூற்று அளவு இனவிருத்தி செல்களில் சேதத்தை விளைவிக்கிறது. எனவே கதிர் வீச்சுக்குள்ளானவர்களின் பாலின செல்களில் ஏற்படும் சீர்குலைவுகள், கருச்சிதைவிற்கும் மலட்டுத்தனத்திற்கும் கோர ஊன உயிர்கள் பிறப்பதற்கும் வழிவகுத்து விடுகின்றன. கோர ஊன உயிர்கள் பிறப்பது போன்ற பாரம்பரிய குறைபாடுகள், சங்கிலித் தொடர்போன்று பல்லாயிரக்கணக்கானவர்களுக்குத் தீங்கு இழைக்கக் கூடியனவாகும்.

கதிர்வீச்சும் கருமுட்டையும்[5]

உயிர் வளர்வதற்கு அடிப்படையான கருமுட்டை கதிர்வீச்சால் மிக எளிதில் பாதிக்கப்பட்டுவிடும் நுட்பமான உணர்ச்சி உடையது. தாய் இந்நிலையில் கதிர்வீச்சுக்குள்ளாவதால் கருமுட்டை சிதைக்கப்படுகிறது. உதாரணமாக, புணர்ச்சியுற்ற 5 நாட்களுக்குள் 200 ரா. கதிர்வீச்சுக்குள்ளான சுண்டெலிகளில் 80 சதவீதம் குட்டிகளை ஈனவில்லை (படம் 13–17ஐக் காண்க). கதிர்வீச்சின் அளவு குறைக்கப்பட்ட பொழுது குட்டிகளை ஈன்றன; ஆனால் இறந்து பிறந்த குட்டிகள் அதிகமாக இருந்தன. 50 ரா. கதிர்வீச்சுக்குள்ளான தாயின் குட்டிகள் மிகச் சிறுத்துப் போய் வளர்ச்சி குன்றிக் காணப்பட்டன.

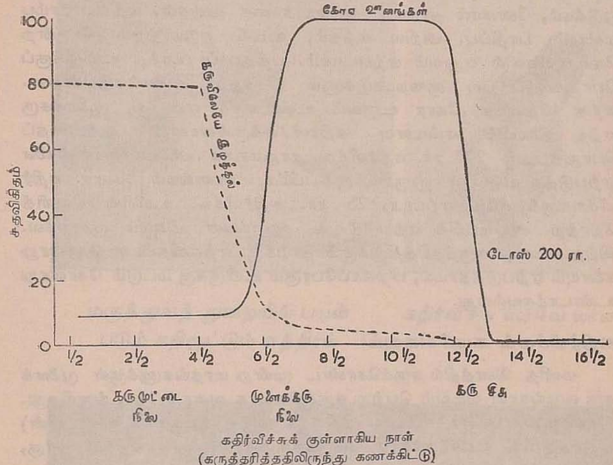
புணர்ச்சிக்குப்பின் சினைப்பட்ட பெண் சுண்டெலிகள் 200 ரா. கதிர்வீச்சுக்குள்ளாக்கப்பட்டன. வரைப்படத்தின் *X*-அச்சில் சினைப்பட்டபின் எந்த நாளில் சுண்டெலிகள் கதிர்வீச்சுக்குள்ளாக்கப்பட்டன என்பது தரப்பட்டுள்ளது, *Y*-அச்சில் கருச்சாவு, ஊன உயிர் பிறப்பு ஆகியவைகள் சதவிகிதத்தில் தரப்பட்டுள்ளன. டாக்டர் ரஸ்ஸல் தம்பதிகள் (Dr. & Mrs. Russell) நடத்திய ஆராய்ச்சிகளின் முடிவைக் கொண்டு வரையப்பட்டது இவ்வரைப்படம்.

கதிர்வீச்சும் முளைக்கருவும்[6]

கருமுட்டை செல் இரட்டித்ததினால் வளர்ந்து, முளைக்கருவாகி மேலும் இரட்டிப்பால் வளரும்பொழுது கருப்பை சுவரில் உறுதியாக

---

1. leukaemia 2. tumour 3. cancer 4. anaemia
5. zygote 6. embryo



படம் 13-17. சுண்டெலியின் கருமுட்டை கதிர்வீச்சால் பாதிக்கப்படல் (வரைப்படம்)

ஒட்டிக்கொள்கிறது. இந்தநிலை மனிதர்களுக்கு 8 நாட்களிலும் சுண்டெலிக்கு 5 நாட்களிலும் ஏற்படுகிறது. அதன்பின் செல்கள் தனித்துவம் பெற்று வளர, நாளடைவில் மொட்டுக்கள் அரும்புவது போல் தலை, கைகால்கள் போன்ற வெளி அவயவங்கள் வடிவம் பெறுகின்றன. இவ்வாறு முளைக்கரு சிறு சிசுவாகப் பரிணமிக்கும் இடைக்காலம் அபாயம் நிறைந்த ஒரு சோதனைக் காலமாகும். இந்நிலையில் மலர்ந்து வரும் அப்புதிய உயிரைக் கதிர்வீச்சு கொல்வதில்லை. மாறாக அதனை மூளியாக்கிவிடுகிறது. இத்தகைய ஊனமடைந்த முளைக்கரு சிதைக்கப்பட்டு உட்கவரப்படுவதுமில்லை; கருச் சிதைவாக வெளியேற்றப்படுவதுமில்லை. ஆனால் அதற்கு மாறாக, பழுது நிரந்தரமாகி, ஊன வடிவத்துடனேயே உயிர் வளருகிறது. முளைக்கருவில் ஏற்பட்ட சேதங்கள், உயிர் பிறக்கும் பொழுது அங்கங்கள் கோணலாகி வெறுக்கத்தக்க பயங்கர உருவுடன் பிறக்க வழி செய்துவிடுகின்றன. இத்தகைய கோர உயிர்கள் கொஞ்ச நாட்கள் வாழவும் செய்யும். ஆரம்ப வளர்ச்சிக் காலத்தில் முளைக்கரு கதிர்வீச்சுக்குள்ளானால் இத்தகைய வேண்டாத

பிறப்புக்கள் அதிகமாக ஏற்பட வாய்ப்புக்கள் உள்ளன. எலும்பு ஒடுக்கம், கோணல் தாடை, குட்டைக் கை கால்கள், மத்திய நரம்பு மண்டல பாதிப்பு, அறிவு மந்தம், உடல் தடுமாற்றம் போன்ற கோளாறுகளில் எதுவும் ஏற்படலாம். புதிதாகப் பிறந்த உயிருக்குப் பொதுவாகப் பல குறைபாடுகளும் சேர்ந்து காணப்படுகின்றன. எந்த விதமான கோர உருவம் உண்டாகும் என்பது, முளைக்கரு எந்த நிலையில் எவ்வளவு கதிர்வீச்சுக்குள்ளானது என்பதைப் பொறுத்தது. 200 ரா. கதிர்வீச்சு தாறுமாருக அநேக ஊனங்களை ஏற்படுத்த வல்லது. ஒருசில குறிப்பிட்ட ஊனங்கள் 50 ரா. கதிர் வீச்சுக்குக் கீழே ஏற்படா. 25 ரா. கதிர்வீச்சு உயிரின் வெளித் தோற்ற அமைப்பில் ஏற்படுத்தும் ஊனங்கள் மிகவும் குறைவே. இந்த அளவு, கருத்தரித்திருக்கும் தாய்க்கு எந்தவிதமான கோளாறு களையும் ஏற்படுத்தாமல், பிறக்கப்போகும் உயிருக்கு மட்டும் கோளாறு உண்டாக்கவல்லது.

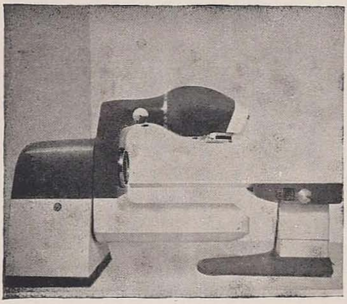
கதிர்வீச்சும் கருச்சிசுவும்[1]

மனித இனத்தில் கருக்கொண்ட மூன்று மாதங்களுக்குள் முளைக் கரு ஒழுங்கான வடிவம் பெற்று கருச்சிசுவாக வளரத் தொடங்குகிறது. சிசுவின் பின் வளர்ச்சிப் பருவத்தில் (கருவுற்ற 3 மாதங்களுக்குப்பின்) கதிர்நோய்[2] உண்டாக்காத அளவிற்கு, தாயானவள் கதிர்வீச்சுக்கு, தவறி உள்ளானல், பொதுவாக மகவின் உடல் வெளியமைப்பில் குறை பாடுகள் தோன்றுவதில்லை. அங்கஹீனம் இன்றிப் பிறந்த குழந்தை உயிருடன் கூட இருக்கலாம். ஆனல் பொதுவாக, சிறுத்த தலை, அறிவு மந்தம், வளர்ச்சி குன்றல், வீரியம் அற்ற வாலிபம், இளமைச்சாவு போன்ற இன்னபிற விளைவுகள் புது உயிருக்கு உண்டாகலாம். பாலூட்டிகளை மாதிரியாகக் கொண்டு செய்துள்ள ஆய்வுகளிலிருந்து இவை யாவும் தெரிய வந்துள்ளன.

தாயும் எக்ஸ் கதிரும்

கருத்தரித்த தாய்மார்களின் கருப்பைப் பகுதியை எக்ஸ்ரே படம் எடுக்க மருத்துவர் சிபாரிசு செய்வது நல்லதல்ல. மார்பை எக்ஸ்ரே படம் எடுக்க சுமார் 1 ரா.வும், இடுப்பு, வயிறு போன்ற பாகங்களை படம் எடுக்க சுமார் 10 ரா.வும் தேவைப்படுகின்றன. எந்திரக் கோளாறு களாலோ, அலட்சியத்தாலோ, அறியாமையாலோ மேற்கூறிய அளவு களுக்கு மேல் கதிர்வீச்சு தரப்பட்டு விடலாம். இத்தகைய நிலைகளில் முளைக்கருவிற்குச் சேதம் விளைவிக்கப்படும் என்பதைப் பற்றி சந்தே கமே இல்லை. கருவிற்கு ஏற்படும் தீங்கு முன்பு கூறப்பட்ட குறைபாடு களுக்குக் காரணமாகி விடலாம். கருக்கொண்டபின் குறிப்பாக இரண்

1. foetus 2. radiation sickness



மருத்துவத் துறையில் பயன் படும் கதிரூட்டும் எந்திரம்

கதிர்வீச்சு ஸர்வே மானி

கதிர்வீச்சின் தீய விளைவுகள்

கதிர்வீச்சால் பாதிக்கப்பட்ட சுண்டெலி

சாதாரண சுண்டெலி

டாம் வாரத்திலிருந்து ஆருவது வாரம் வரை முளைக்கருவில் மிக முக்கிய உறுப்புக்களின் தோற்றமும் வளர்ச்சியும் ஏற்படுகின்றன, குறிப்பிட்ட பெண் கருக்கொண்டிருக்கிருள் என்பதை அறிந்துகொள்ள முயலாமல், மருத்துவர் எக்ஸ்ரே பரிசோதனை செய்யவும் கதிர் மருத்துவ சிகிச்சை தரவும் கூடும். டாக்டர் ரஸ்ஸல் தம்பதிகள் இத்தகைய சம்பவங்களால் விளைந்த விபரீதங்களை மருத்துவர்களின் கவனத்திற்குக் கொண்டு வந்துள்ளனர்.

கூற்று அளவும் கதிர்நோயும்

ஜப்பான் அணுகுண்டின் கதிரியக்க வீச்சுக்குள்ளானவர்களையும், அணு ஆராய்ச்சி நிலையங்களில் (தவறி) கதிர்வீச்சு விபத்துக்குள்ளான வர்களையும் பரிசோதனை செய்ததன் மூலமாக திடீரென்று அபரிமித மான கதிர்வீச்சுக்குள்ளாவதன் விளைவுகள் அறியப்பட்டுள்ளன. கதிர் வீச்சால் ஏற்படுத்தப்பட்ட நோயின் தன்மை மனிதனுக்கு மனிதன் சிறிது வேறுபட்டிருந்தாலும், பொதுவாக நோயின் நான்கு முக்கிய நிலைகள் கவனிக்கப்பட்டுள்ளன.

முதல்நிலையில் கதிர்வீச்சுக்குள்ளான சிலமணி நேரத்தில் குமட்டல்[1], வாந்தி எடுத்தல், தலைசுற்றல், தோல் சிவத்தல், வாய்ப்புண் தோன்றல் போன்ற அறிகுறிகள் தோன்றுகின்றன.

அடுத்து இரண்டாவது நிலையில் கோளாறுகள் குணமாவது போன்ற நிலை பல நாட்கள் நீடிக்கிறது. கதிர்வீச்சின் அளவு அதிக மானல் இந்த இடைவெளிக்காலம் குறையும். அளவு குறைந்தால் இடைவெளிக்காலம் நீடிக்கும்.

மயிர் உதிர்தல், நகம் பெயர்தல், ஈறுகளில் ரத்தம் கசிதல், தொண்டை வீங்குதல் போன்றவற்றுடன் கடுமையான ஜுரம், குடல் வலி, வயிற்றுப் போக்கு, ரத்தக் கசிவு போன்ற தீவிர விளைவுகள் வேர் விட்டு உயிரை அலைக்கழிப்பது மூன்ருவது நிலையாகும். மேலும் இந் நிலையில் உடலின் வளர்சிதை மாற்றம் விபரீத எல்லையின் உச்சக் கட்டத்தை அடைகிறது. பசியின்மை, செயல் ஒடுங்குதல், வலிமை குன்றல், எடை இழத்தல், விரைவான இதயத்துடிப்பு போன்ற பிற கோளாறுகளும் சேர்ந்துகொள்கின்றன. கோளாறுகளின் பிறப்பும் எண்ணிக்கையும், தீவிரமும் கதிர்வீச்சின் அளவையும் உடல் அமைப் பையும் பொறுத்து வேறுபடும். கூற்று அளவாக இருந்தால் உயிர் ஊசலாட ஆரம்பிக்கிறது. அவனுடைய உடல் அமைப்பு எந்த அளவிற்கு மேற்சொன்ன கோளாறுகளைத் தாக்குப்பிடிக்க முடியும் என்பதைப் பொறுத்துத்தான் அவன் உயிர்ப்பிச்சை உள்ளது. இத்தகைய நிலை சில நாட்களிலிருந்து பல வாரங்கள் வரை கதிர் வீச்சின் அளவுக்குத்தக, மாறுபடும்.

---

1. nausea

நான்காவது நிலையில் நோயாளி அநேகமாக இறந்து விடுவான். (குறை கூற்று அளவாக இருந்தால் மேற்சொன்ன கோளாறுகள் கடுமையாக இல்லாமல் லேசாகப் பல மாதங்கள் வரை நீடிக்கலாம். பிறகு கோளாறுகளின் தீவிரம் நாளடைவில் குறைந்து குணம் ஏற்படத் தொடங்குகிறது. அதன்பிறகு நோயாளி சாதாரண ஆரோக்கிய நிலையை அடைந்து விடுவதாக, தற்காலத்து மருத்துவப் பரிசோதனைகள் நிரூபிக்கின்றன. ஆனால் சமயங்களில் வேறு புதிய தொல்லைகளும் நோய்களும் பிற்காலத்தில் தோன்றுவதற்குக் கதிர்வீச்சு காரணமாகிறது என்பதையும் நாம் மறந்துவிட முடியாது.) வெவ்வேறு அளவு கதிர் வீச்சுக்குள்ளான மனிதர்களிடம் தென்படும் அறிகுறிகளையும் அவை தோன்றும் காலத்தையும் அட்டவணை 13–2 காண்பிக்கிறது.

கதிர்நோய்க்குக் காரணங்கள்

கதிர்வீச்சால் மரணம் அடைந்த உயிரைப் பரிசோதனை செய்து பார்க்கும் மருத்துவர், சில பல நூறு ராண்ட்ஜன் கதிர்வீச்சு உடலில் எந்தக் குறிப்பிட்ட பாகத்தைச் சேதமடையச் செய்து மரணத்திற்கு வழி வகுத்திருக்கிறது என்பதைக் கண்டுகொள்ள முடியாமல் திணறி விடுவார்.

கதிர்வீச்சுக்குள்ளான பின் உடலின் உள்ளே ரத்தக் குழாய்கள் பலபடியாக வெடித்து ரத்தக்கசிவுகள் ஏற்படுகின்றன. ரத்தக்கசிவுகள் முக்கியமாக உடல் அவயவங்களின் ஆரோக்கிய நிலையைப் பாதிப்பதன் மூலமோ, ரத்தச் சோகையை[1] உண்டாக்குவதன் மூலமோ மரணத்தை ஏற்படுத்தலாம். ஆனால் ரத்தக்குழாய் வெடிக்கும் இடங்கள் இனத்திற்கு இனம் மாறுபடுகின்றன. எலிகள், சுண்டெலிகள் ஆகியவற்றிற்குக் குடற்சுவர்களில் ரத்தக்குழாய் வெடிப்பு ஏற்படுகிறது. இங்கு ஏற்படும் வெடிப்பினால் மரணம் ஏற்படவேண்டும் என்ற அவசியம் இல்லை. பன்றிக்கோ இதயத்திற்கு அருகிலும் வெடிப்புகள் ஏற்படுகின்றன. அவை பன்றியின் இறப்பிற்குக் காரணமாகலாம்.

கதிர்வீச்சுக்கு உள்ளான உயிரினங்களுக்குச் சில சமயங்களில் சோகை உண்டாகிறது. ஆனால் இந்தச் சோகையானது பலமாக வேர் விடும் முன்பே உயிரினங்கள் மடிந்து விடுகின்றன. சோகைதான் ஒரு வேளை இறப்பிற்குக் காரணம் என்றால் புதிய ரத்தத்தை உடலில் செலுத்துவதால் அந்த உயிரைக் காப்பாற்ற முடிய வேண்டும். ஆனால் நடைமுறையில் பெருமளவு ரத்தம் செலுத்தியும்[2] உயிர்ப் பிச்சை அளிக்கவோ மரண காலத்தின் கெடுவை அதிகரிக்கவோ முடிவதில்லை.

நோய்க்குக் காரணமான பாக்டீரியாவை[3] எதிர்க்கும் உடலில் உள்ள நோய் எதிர்ப்பொருள்களின்[4] ஆற்றலைக் கதிர்வீச்சு குறைக்

---

1. anaemia. 2. blood transfusion 3. bacteria
4. antibodies

அட்டவணை 13-2

கதிர்வீச்சுக்கு உள்ளானபின் ஆன நேரம்	600 ரா.	400 ரா.	200 ரா.
	இரண்டு மணி நேரத்திற்குப் பிறகு, குமட்டல், வாந்தி எடுத்தல்		
முதல் வாரம்	குறிப்பான அறிகுறிகள் இல்லை	குறிப்பான அறிகுறிகள் எதுவும் இல்லை	
இரண்டாவது வாரம்	வயிற்றுப் போக்கு வாந்தி, தொண்டை வீக்கம் ஜுரம், உடல் சோர்வு, மெலிவு, இறப்பு (100%)		
மூன்றுவது வாரம்		மயிர் உதிர்தல் பசியின்மை, ஜுரம், சோர்வு, மெலிவு 50% மரணம்	
நான்காவது வாரம்			மயிர் உதிர்தல் பசியின்மை, தொண்டை வலி, தோல் வெளுத்தல் வயிற்றுப் போக்கு குணம் ஏற்படல் பொதுவாக மரணம் இல்லை

கிறது. அணுகுண்டு வெடிப்பினால் கதிர்வீச்சுக்குள்ளான நோயாளிகளுக்கு உண்டாகும் சிறு காயங்கள்கூட புரையோடிக்[1] குணமாகாமல் தொல்லை தருவதை மருத்துவர்கள் கண்டுள்ளார்கள். சில நூறு ராண்ட்ஜன் கதிர்வீச்சுக்குள்ளான பின் உயிரினங்கள் தொற்று வியாதியால்[2] மிக எளிதில் பீடிக்கப்படுகின்றன. மேலும் ரணமாகிவிட்ட குடற்சுவர்கள் வழியே நோய்க்கிருமிகள் எளிதில் புகுந்து உடலில் பரவுகின்றன. அபாயகரமான இத் தொற்று வியாதிகள் உயிருக்கே உலைவைக்கக் கூடியவை; ஆனால் அவைகள்தான் முடிவில் சாவிற்குக் காரணம் என்றால் நுண்ணுயிர் கொல்லி மருந்துகள்[3] தரப்படுவதால் மரண விகிதத்தில் குறைவு ஏற்படவேண்டும். கிட்டத்தட்ட எல்லா நோய்க் கிருமிகளையும் அழிக்கவல்ல இன்றைய விந்தை மருந்துகளின் செயல் அளப்பரியதுதான். ஆனால் இந்த சமய சஞ்சீவிகள் கூட, கதிர்நோயிலிருந்து விமோசனம் தருவதாகத் தெரியவில்லை. வேண்டுமானால் சமயத்தில் கொஞ்ச நாட்கள் படுக்கையில் கிடத்தி, அதிக நாட்கள் உயிரோடு விட்டு வைக்கிறது. பின் வழக்கம்போல் மரணம் ஏற்பட்டு விடுகிறது. எனவே இந்தத் தொற்று நோய்கள் மட்டுமே மரணத்திற்குக் காரணமல்ல என்பது தெளிவு. இப்படிக் கூறி விட்டதால் கதிர் நோயாளி தொற்று வியாதிகளால் அவதிப்பட்டால், சிகிச்சையே செய்ய வேண்டியதில்லை; அவரைச் சாக விட்டுவிடுவதே மேல் என்று அர்த்தமல்ல. ஏறக்குறைய கூற்று அளவாக இருக்க நேர்ந்து சரியான நுண்ணுயிர் கொல்லி மருந்துகள் தருவதாலும், ஏனைய உப சாந்திகளாலும் நோயின் முடிவை ஒருகால் மாற்ற முடிந்தாலும் முடியலாம்.

புதிதாகப் பிறந்த கோழிக்குஞ்சுகளை கதிர்வீச்சுக்கு உள்ளாக்கினால் அவற்றின் சிறு நீரகங்கள்[4] பழுது அடைந்து வேலை செய்ய மறுக்கின்றன. இங்கு இந்த முக்கிய உறுப்பின் சேதமே கோழியின் மரணத்திற்குக் காரணம் எனக் கூறலாம். ஆனால் இது போன்று ஒரு குறிப்பிட்ட காரணத்தால் மற்ற உயிரினங்களில் இறப்பு ஏற்படுவதில்லை.

'முழு உடல் கதிரூட்டலுக்குப்'[5]பின் ஏற்படும் உடலியல் ஒழுங்கீனங்கள்[6] தாறுமாறாகவும், பரவலாகவும் ஏற்படுகின்றன. ஆனால் சாவு என்னவோ ஒரு குறிப்பிட்ட கால கெடுவிற்குள் ஒழுங்காக வந்து விடுகிறது.

கதிர்வீச்சு உடல் முழுவதும் பட்டவுடன் எல்லா ஸெல்களும் நேரடியாகப் பாதிக்கப்பட்டு விடுகின்றன. எனவே பாதிக்கப்பட்ட ரத்த ஓட்டத்தின் மூலமோ மற்ற உடல் திரவ ஓட்டங்கள் மூலமாகவோதான் எஞ்சிய ஸெல்கள் யாவும் பாதிக்கப்பட வேண்டும் என்ற நியதியே

---

1. septic 2. infectious disease 3. antibiotics
4. kidneys 5. whole body irradiation
6. pathological changes

இல்லை. உதாரணமாக முழு உடல் கதிர்வீச்சுக்குப்பின் எலும்பு மஜ்ஜையின்[1] எல்லாப் பகுதிகளிலும் குடற்சுவர்களிலும் ஒருங்கே செல் பிரிவு நின்று விடுகிறது. எலும்பு மஜ்ஜையில் ரத்த செல் களின் உற்பத்தியும் தடைப்பட்டு விடுகிறது. எனவே சேதமடைந்த பகுதியை ஈடுசெய்ய அக்குறிப்பிட்ட உறுப்பின் வேறு எந்தப் பகுதியி லிருந்தும் சேதமடையாத செல்கள் கிடைப்பதில்லை. பல நூறு ராண்ட்ஜன் முழு உடல் கதிர்வீச்சுக்குள்ளான மறுநாள் எந்தவிதப் புது செல்களும் மேற்கூறிய உறுப்புக்களில் தோன்றாமல் இருப்பதை நுண்பெருக்கி சோதனைகள் தெளிவாகக் காட்டுகின்றன. இறப்பு ஏற்படுத்தாத குறை கூற்று அளவிலும் (300–500 ரா) இதே போன்று புது செல்கள் தோன்றாமல் இருப்பதைக் காணலாம். கூற்று அளவிற்கும், அதற்குச் சற்றே குறைவான அளவிற்கும் உள்ளான உயிரினங்களின் செல்களின் அமைப்பிலும் எந்தவிதமான வேறுபாடு களையும் காண்பது கடினம். எனினும் செல்லின் மலட்டுத்தனம் தற்காலிகமானது. எலும்பு மஜ்ஜையில், குடற்சுவர்களில் சில நாட் களுக்குப்பின் புதிய செல்கள் தோன்றி நஷ்டஈடு செய்கின்றன. எனவே அந்த உயிரின் மரணத்திற்குப் பிறகு இவ்வுறுப்புக்களைச் சோதனை செய்து பார்த்தால் சேதமே அடையாத ஆரோக்கியமான உறுப்புக்களாகவே அவை தோற்றமளிக்கும். ஆனாலும் தற்காலிகமாக அவைகளில் ஏற்படுத்தப்பட்ட சேதங்கள்தான் உயிர் இழப்பிற்கு வழி செய்து விட்டன.

ஒன்றை ஒன்று சார்ந்து வேலை செய்யும் உறுப்புக்களைப் பெற்று விட்ட பாலூட்டிகளில் இத்தகைய உறுப்புக்கள் பலவும் ஒரே சமயத்தில் தாக்கப்பட்டால் அவைகள்தான் என்ன செய்யமுடியும்? ஓர் உறுப்பிற்கு ஏற்படும் சேதம் அதைச் சார்ந்த மற்றோர் உறுப்பையும் (அது கதிர் வீச்சுக்குள்ளாகாமல் தப்பித்துக் கொண்டிருந்தாலும் கூட) கெடுத்து விடுகிறது. எனவே அவற்றினிடையே உள்ள ஒரு சம நிலை[2] சீர் குலைக்கப்படுகிறது. ஆகையால் ஒரு தவறான எதிர்வழியில் எல்லா உடலியல் கிரியைகளும் நடக்க ஆரம்பிக்கின்றன. தனித்தனியாக ஒவ்வோர் உறுப்பும் மெதுவாகக் குணமடைய ஆரம்பிக்கும்பொழுது, துல்லியம் வாய்ந்த இவ்வுறுப்புக்களின் சிக்கலான சார்பு வேலைகளை மீண்டும் தோற்றுவிப்பது என்பது காலம் கடந்த, முடியாத ஒரு செயலாகி விடுகிறது. இதனால் நுட்பமான உடல் எந்திரமும் வேலை செய்ய மறுத்துவிடுகிறது. முடிவு—மூளையின் ஆட்சிக்கே அப்பாற் பட்டுவிட்ட அந்த சீர்குலைக்கப்பட்டுவிட்ட நிலையைச் சீர்படுத்தவே முடிவதில்லை. மூளையும் 'மத்திய நரம்பு மண்டலமும்'[3] அதிசயிக்கத் தக்க வகையில் கதிர்வீச்சை மற்ற உறுப்புக்களைவிட அதிக மாகத் தாக்குப்பிடிக்கும் திறமை கொண்டவைகளாக உள்ளன.

---

1. bone marrow 2. balance 3. central nervous system

எனவே கதிர்நோயில் இவைகளின் பங்கு மிகவும் குறைவு எனக்கூற வேண்டும்.

முடிவாக, கதிர்நோய் என்பது இதுதான், இப்படித்தான் இருக்க வேண்டும் என்ற வரையறைக்கு உட்படுத்தி விளக்கம் தரக்கூடிய நோய் அல்ல. அதன் தன்மையும், தீவிரமும் இனத்திற்குத் தக மாறுபடுகிறது. எனவேதான் செல்களின் சேதம், வளர்சிதைமாற்றச் சீர்குலைவுகள், முக்கிய உறுப்புக்களில் ஏற்படும் சேதம் இன்னபிற கோளாறுகளின் ஓர் அலங்கோல அவல நாடகம்தான் கதிர்நோய் எனச் சுருக்கமாகக் கூறிவிடலாம்.

கதிர்வீச்சும் புற்று நோயும்[1]

வேண்டாத, அதிகப்படியான, மிக விரைவில் வளரும் திசுக்களின்[2] வளர்ச்சியைக் கழலை[3] என்கிறோம். ஒரு குறிப்பிட்ட உறுப்பில் வளரும் இத்தகைய கழலை செல்கள் அவ்வுறுப்பைப் பாதிப்பதுடன் அல்லாமல், புல்லுருவிகள்போல் இடம் பெயர்ந்து, மற்ற உறுப்புக்களிலும் படர்ந்து வளர்ந்தால் அதனைப் புற்று நோய் என்கிறோம்.

புற்று நோயில் பல வகைகள் உண்டு. தோல் புற்று[4], நுரையீரல் புற்று[5], கொங்கைப் புற்று[6], குருதிப்புற்று[7] என அவயவங்களுக்குத் தக அதன் பெயர் மாறுபடுகின்றது. புகைபிடித்தல், புற ஊதாக் கதிர்[8] பாய்தல், தூசு கலந்த காற்றைச் சுவாசித்தல், தொடர்ச்சியான உடல் அரிப்பின் தொல்லை, சில ரசாயனப் பொருள்களின் தன்மை, வைரஸால்[9] உண்டாகும் கோளாறுகள் போன்ற இன்னபிற காரணங்களால் கழலைகளும் புற்றும் ஏற்படலாம்.

எக்ஸ் கதிர்கள், காமாக் கதிர்கள், மற்றவகை அணுக்கதிர்கள், உயிரினங்களில் புற்றுக்கும் கழலைக்கும் வித்திடுகின்றன. கதிர்வீச்சின் தன்மைகள் சரிவர அறியப்படாத கடந்த காலத்தில் எக்ஸ் கதிர்களுடன் தொடர்பு கொண்ட மருத்துவர்கள், ஆராய்ச்சியாளர்கள், செவிலியர்கள்[10] ஆகியோர் மற்றவர்களைவிட எளிதில் புற்று நோய்க்கு ஆளாகியுள்ளனர் என்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது.

புற்று நோய்க்குக் கதிர்வீச்சு சிகிச்சை

எந்தக் கதிர்வீச்சு, வேண்டாத செல் வளர்ச்சிக்கு வித்திட்டு கழலையையும் புற்றையும் தோற்றுவிக்கின்றதோ, அதே கதிர்வீச்சுதான் இன்று புற்று நோயில் காணப்படும் மிகையான, வேண்டாத, பயிருக்குக்

---

1. cancer
2. tissues
3. tumour
4. skin cancer
5. lung cancer
6. breast cancer
7. blood cancer
8. ultra-violet rays
9. virus
10. nurses

களையாகி நிற்பது போன்ற, செல்களின் வளர்ச்சியை அழித்து, புற்று நோயைக் குணப்படுத்தவும் பயன்படுகின்றது. எனவேதான் நோய்க்கு மருந்தாகியும், உயிருக்கு எமனுகியும் நிற்கும் கதிர்வீச்சைப் பயன்படுத்துவதில் மிகவும் கவனத்துடன் இருப்பது அவசியமாகின்றது.

கதிர்வீச்சு, செல்களை அழிக்கவல்லது என்பதை முன்பே கண்டோம். எனவே கதிர்வீச்சால் தேவையற்ற கழலை செல்களை அழிக்கும்போது, அவைகளைச் சுற்றியுள்ள ஆரோக்கியமான செல்களையும் கூடவே அழித்துவிடாமல் காப்பாற்றுவது மிகவும் அவசியமாகின்றது. எனவே கதிர்வீச்சின் அளவைக் குறைத்தும், கூட்டியும், விட்டும், தொடர்ந்தும் நிலைமைக்குத் தகுந்தவாறு தருதல் வேண்டும். தவிரவும் அதிகமான அளவை ஒரே தடவையில் தருவதால் உயிரியல் கிரியைகள் சீர்குலைக்கப்பட்டுக் கடுமையான நோய்கள் தோன்றக் காரணமாகிவிடலாம். எனவே சிகிச்சை, விட்டு விட்டுப் பரவலாகவும், நோயாளிக்கு வேறு எந்தப் புது நோய்களையும் உண்டாக்காத அளவிலும் இருக்கவேண்டும்.

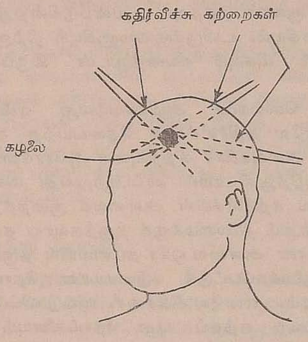
கழலை, புற்று அகியவற்றின் தன்மைகளுக்கு ஏற்றவாறு இன்று வெவ்வேறு வழிகளில் கதிரூட்டல் தரப்படுகின்றது. தோல் புற்றுக்கு அக்குறிப்பிட்ட பகுதியில் மட்டும் எக்ஸ் கதிரூட்டல் செய்யப்படுகிறது. பொதுவாக கழலை செல்களை அழிக்க 2000—7000 ரா. வரை கதிர்வீச்சு தேவைப்படுகின்றது.

ஆழப் பதிந்த கழலை[1] செல்களை அழிக்க, மிகவும் சக்தி வாய்ந்த எக்ஸ் அல்லது காமாக்கதிர்கள் அதிக அளவில் தேவைப்படுகின்றன. இக்கதிர்களை உண்டாக்கும், அல்லது கதிர்வீசும் பொருள்களைக் கொண்டிருக்கும், கதிரூட்டல் எந்திரங்கள், வேண்டியபடி இயக்கப்படவும் குறிப்பிட்ட இலக்கை மட்டும் துல்லியமாகத் தாக்கவும் பயன்படுமாறு இருக்கவேண்டும். ஆழ்கழலைகளுக்கு அதிக அளவில் கதிரூட்டல் செய்யப்படும் பொழுது, நுண் உணர்வுடைய தோல் பாதிக்கப்படாமல் இருக்க பல கோணங்களிலிருந்து ஒரே இலக்கை நோக்கிப் பலதடவைகளில் கதிர்வீச்சு தரப்படுகின்றது. (படம் 13–18 மூளைக்கழலைக்குக் கதிர்வீச்சுக் கற்றைகளால் சிகிச்சை தருவதைக் காண்பிக்கிறது. மூளைக்கழலையைத் தாக்கும்படியும் அதே சமயம் மண்டைத்தோல் ஒரே இடத்தில் பாதிக்கப்பட்டு விடாமல் இருக்கும்படியும் பலகோணத்திலிருந்து கதிரூட்டல் செய்யப்படுகிறது.)

மற்றெரு முறையில், புற்றுநோய் உள்ள உடல் உள் உறுப்புக்களில் கதிரியக்க ரேடியம் ஊசிகளைப் புதைத்து விடுகின்றுர்கள். அதிலிருந்து தொடர்ந்து வந்து கொண்டிருக்கும் அணுக்கதிர், புற்று செல்களை அழித்துக்கொண்டிருக்கும்.

---

1. deep seated tumour



படம் 13-18. மூளைக் கழலைக்கு கதிர்வீச்சு சிகிச்சை

சில கதிரியக்கப் பொருள்கள் அவற்றிற்கு உரித்தான முக்கிய உறுப்புக்களில்[1] தேங்கும் பண்புடையவைகளாதலால், அத்தகைய உறுப்புக்களில் ஏற்படும் புற்றுகளை ஒழிக்க அந்தக் குறிப்பிட்ட கதிரியக்கப் பொருள்களே மருந்தாகத் தரப்படுகின்றன. கதிரியக்க அயோடின்–131ஐ[2] உட்கொள்ளச் செய்தால் பெரும்பகுதி தைராய்டு சுரப்பியில்[3] தங்கி விடும். எஞ்சிய பகுதி பலவழிகளிலும் வெளியேற்றப்பட்டு விடும். தைராய்டு சுரப்பியில் தேங்கிய கதிரியக்க அயோடின், தன் கதிர்வீச்சால் கழலைகளை அழிக்கும்.

ரத்த செல்களை உற்பத்தி செய்யும் எலும்பு மஜ்ஜை சில சமயங்களில் அதிக அளவில் வெள்ளை அல்லது சிகப்பு செல்களை உற்பத்தி செய்து குருதிப்புற்றை உண்டாக்குகின்றது. கதிரியக்க பாஸ்ஃபரஸ்–32[4] குறிப்பாக எலும்பில் தேங்கும் தன்மையுடையது. எனவே இந்த கதிரியக்க பாஸ்ஃபரஸ் தரப்பட்டால், அது எலும்பு மஜ்ஜையில் குடியேறி, தன் கதிர்வீச்சால் ரத்த செல்களின் அபரிமிதமான உற்பத்தியைக் குறைக்கலாம். குருதிப் புற்று நோயை இம்முறையால் ஓரளவு கட்டுப்படுத்தலாம்.

கதிர்வீச்சும் தாவர இயலும்[5]

கதிர்வீச்சால் பிறழ்ச்சிகள் ஏற்படுகின்றன என்பதை முன்பே கூறினோம். பண்பகப் பிறழ்ச்சிகளால் பிரதிகூலம் பெற்ற பிறழிகள்

---

1. critical organs 2. iodine–131 3. thyroid gland
4. phosphorus–32 5. botany

வாழ்க்கைப் போராட்டத்தில்[1] தகுதி பெற்று வாழமுடியாமல் அழிந்து போகலாம். அனுகூலம் பெற்ற பிறழிகள் தம் இனத்தில் உள்ள சாதாரணமானவைகளை விடச் சிறந்து செழித்துப் பெருகலாம். அநேகமாக பிறழ்ச்சிகள் அந்த உயிருக்குத் தீமை பயப்பனவாகவே அமைகின்றன.

தாவர, தானிய விதைகளை மிக அதிகமான எக்ஸ் அல்லது காமாக் கதிர்களுக்கு (1இல் இருந்து 50 கிலோராண்ட்ஜன் வரை விதைகளுக்கு தகுந்தவாறு) உட்படுத்தி, பிறழ்ச்சிகள் அதிகமாகவும், குறுகிய காலத்திலேயும் ஏற்பட வழிகள் செய்யப்படுகின்றன. இவ் விதைகளைப் பயிரிட்டு வளரும் தாவரத்தின் அடுத்தடுத்த சந்ததிகளில் தோன்றும் பிறழிகளில், மனிதனுக்குப் பயன்படும் அனுகூலமானவைகளை மட்டும் தனியே பிரித்து எடுத்துக் கொள்ள முடியும். இத்தகைய பிறழிகள் பிற்பாடு வேறு சீதோஷ்ணநிலை உடைய பல இடங்களிலும் சோதனை யாகப் பயிரிடப்படுகின்றன. அவை இணங்கமாறலுக்கு[2] உள்ளாகி நன்கு வளர்ந்தால் மட்டுமே அக் குறிப்பிட்ட பிறழி இனம் பிரபலப் படுத்தப்படுகிறது. பாபா அணு ஆராய்ச்சி கேந்திரத்தின் உயிரியல் விஞ்ஞானிகள், கதிரூட்டலின் மூலம் பல பயன்தரு பிறழிகளை உண்டாக்கியுள்ளார்கள்.

வேளாண்மைத் துறையிலும் தாவர இயல் துறையிலும், பயிரினங் களின் அறுவடைக் காலங்களைக் குறைக்கவும், விளைச்சலை அதிகரிக்கவும் கதிர்வீச்சு பயன்படுகிறது.

கதிர்வீச்சும் பூச்சியியலும்[3]

கதிர்வீச்சு மலட்டுத்தனத்தை ஏற்படுத்த வல்லது. எனவே தாவர, மனித இனங்களுக்குக் கேடு விளைவிக்கும் பூச்சி இனங்களின் பெருக்கத்தைக் கட்டுப்படுத்த கதிர்வீச்சைப் பயன்படுத்தலாம்.

ஆண் பூச்சிகளின் வீரியத்தை அழிக்கும் அளவிற்கு கதிர்வீச்சு தரப்பட்டு, அதிக அளவில் இத்தகைய பூச்சிகள் வெளியே விடப் படுகின்றன. இதனால் பெண் பூச்சியைக் கலவி புரிய விரைந்து வரும் மற்ற பூச்சிகள் வீரியமற்ற பூச்சிகளுடன் போட்டியிட வேண்டி யிருக்கும். இத்தகைய ஒரு போட்டியால் வீரியம் உள்ள பூச்சிகள் பெண்ணைப் புணர்ந்து இனப்பெருக்கம் செய்யும் சந்தர்ப்பங்கள் குறைக்கப்படுகின்றன. கதிர்வீச்சால் மலடாக்கப்பட்ட பூச்சிகளால் புணரப்பட்ட பெண்பூச்சிகள் சினைப்படுவது தடுக்கப்பட்டு, சந்ததிகள் தோன்றுமல் அழிவதற்கு அதிக வாய்ப்புக்கள் உண்டாக்கப்படுகின்றன. மேலும், தவறி கருக் கொண்டாலும், அதனால் உண்டாகும் பிறழிகள் வாழத் தகுதியற்று மடிந்துபோகக் கதிர்வீச்சு காரணமாகிறது.

---

1. struggle for existence 2. adaptation
3. entomology

தானியங்களை அரித்துப் பாழாக்கும் புழு, பூச்சிகள், வண்டுகள் போன்ற சிற்றுயிர்களைக் கொல்வதற்கும் கதிர்வீச்சைப் பயன்படுத்த லாம். இந்தியாவில் தானிய சேமிப்புக் காலங்களில் மட்டும் சுமார் 100 லட்சம் டன் தானியங்கள் பூச்சிகளால் நாசமாக்கப்படுகின்றன. ரசாயனப் பொருள்களைப் பயன்படுத்தி பூச்சிகளை அழிக்க முடியும், ஆனால் அதனால் தவறி ஏற்படும் கலப்படம், உண்டவரின் உடலுக்குத் தீங்கையும், சமயத்தில் மரணத்தையும் ஏற்படுத்த வல்லது. மேலும் ரசாயனப் பொருள்கள் பூச்சிகளின் முட்டைகளையும் கூட்டுப் புழுக்களை யும் அதிகமாகப் பாதிக்கா. வளர்ச்சியடைந்த பூச்சிகளை மட்டுமே அழிக்கும். ஆனால் அதிக அளவு கதிர்வீச்சு, தானியத்தில் மறைந்து கிடக்கும் முட்டை, கூட்டுப்புழு, பூச்சி ஆகியவற்றை ஒருசேர அழிக்க வல்லது. மேலும் கலப்பட பயமும் இல்லை.

அரிசிப் புழுக்கள்,[1] மாவு வண்டுகள், வெட்டுக்கிளி போன்ற அரிக்கும் பூச்சிகள் போன்ற எல்லா வகைப் பூச்சிகளையும் கதிர்வீச்சு அழிக்கும் தன்மை கொண்டது.

கதிர்வீச்சும் உணவு பதப்படுத்தலும்[2]

கதிர்வீச்சால் உணவைப் பாதுகாத்து நெடுநாள் சேமித்து வைக்கும் முறைகளைப் பற்றிய ஆராய்ச்சிகள், உலகின் பல நாடு களிலும் நடந்து கொண்டிருக்கின்றன. பாபா அணு ஆராய்ச்சி கேந்திரத்தின் 'உயிர் ரசாயன உணவியல் பகுதி'யானது,[3] இத்தகைய ஆய்வுகளை மேற்கொண்டு உணவுப் பொருள்களைப் பதப் படுத்தும் பல முறைகளை அபிவிருத்தி செய்யும் பணியில் ஈடு பட்டுள்ளது.

விரைவில் கெட்டுவிடக்கூடிய உணவுப் பொருள்கள் குறிப்பிட்ட பருவங்களில் மட்டுமே கிடைக்கலாம். அதிலும் ஒருசில இடங்களில் மட்டுமே பயிராகி, அங்கு மட்டுமே அதிகமாகக் கிடைக்கலாம். கிடைக் கின்ற உணவுப் பொருள்களைக்கூட போதிய வாகன வசதிகள் இன்மை யால் மற்ற இடங்களுக்கு விரைவில் கொண்டு சென்று விநியோகிக்க முடியாமல் இருக்கலாம். போர் முனையில் சமர் புரிந்துகொண்டிருக்கும் வீரர்களுக்குப் பல நாட்கள் வரை கெடாத பதப்படுத்தப்பட்ட உணவுப் பொட்டலங்களையே கொடுக்கவேண்டிய நிலை ஏற்படலாம். ஏற்றுமதி இறக்குமதிப் பொருள்கள் நெடுநாள் பயணம் செய்வதால் கெட்டு, பண்டவிரயம் ஏற்படலாம்.

உணவுப் பற்றுக்குறையால் தவித்துக் கொண்டிருக்கும் இன்றைய நிலையில் உணவுப் பற்றுக்குறையைச் சமாளிக்கவும், பண்டவிரயத்தைத்

---

1. rice weevils 2. food preservation
3. biochemistry and food technology division

தடுக்கவும், பூச்சி, எலி போன்றவற்றுல் ஏற்படும் நஷ்டங்களைத் தடுப்பதும் மிகவும் அவசியமாகிறது.

கதிர்வீச்சின் உதவியால் பூச்சிகள், தாவர, விலங்கின ஒட்டுண்ணிகள்[1], தொற்று நோய்க் கிருமிகள், காளான் பூத்தல், முளைவிடுதல், அழுகுதல் போன்றவற்றை அழிக்கவும் தடுக்கவும் முடியும்.

கிழங்கு முளைவிடுவதைத் தடுத்தல்

உருளைக்கிழங்கு, வெங்காயம் போன்றவற்றில் நாளடைவில் முளைக் குருத்துக்கள் தோன்றி அவை அழுகக் காரணமாகிவிடுகின்றன. அவைகளைக் குறைவான காமாக் கதிர்வீச்சுக்குள்ளாக்குவதன் மூலம் முளைவிடுவதைத் தடுத்து, முளைவிடாமல் அதிக நாட்கள் பாதுகாக்க முடிந்துள்ளது. சாதாரணமாக உருளைக்கிழங்கு 14 வாரமும், வெங்காயம் 12 வாரமும் கெடாமல் உள்ளன. கதிரூட்டப்பட்ட உருளையும் வெங்காயமும் முறையே 28, 24 வாரங்கள் வரை கெடவில்லை.

கனிதலைத் தாமதப்படுத்துதல்

காய்கள் பழுக்கத் தேவைப்படும் நாட்களைக் கதிர்வீச்சால் அதிகரிக்கலாம். பழங்களைக் காய்நிலையிலேயே கதிரூட்டி அனுப்புவதன் மூலம், அவை வெளிநாடுகளுக்குச் சென்று தாமதமாகப் பழுப்பதால், விரைவில் அழுகாமலும் விரயம் ஆகிவிடாமலும் தடுக்கப்படுகின்றன. மாம்பழங்கள் 2 வாரங்களில் கனிந்து அழுகி விடுவதை 4 வாரங்களாக நீடிக்க முடிந்துள்ளது.

மீன் பதப்படுத்துதல்

பம்பாயில் அதிகமாகக் கிடைக்கும் பாம்பே-டக்[2] என அழைக்கப்பெறும் ஒருவகை மீன், சில மணி நேரத்திலேயே அழுகிவிடும். பனிக்கட்டியில் வைத்து அதிகபட்சம் 3 நாட்கள் வரைதான் அதைக் காப்பாற்ற முடியும். வெப்பப் பதமாக்குதல் முறையிலும் இம்மீனைப் பதப்படுத்த முடிவதில்லை. ஆனால் இதே மீனை கதிர்வீச்சுக்குள்ளாக்கிய பின் 10–12 டிகிரி அல்லது 0–4 டிகிரி சென்டிகிரேடு உஷ்ண நிலையில் வைத்திருப்பதன் மூலம் முறையே 3 அல்லது 6 வாரங்கள் வரை கெடாமல் பாதுகாக்க முடிந்துள்ளது.

கதிர்வீச்சு உலர்முறை[3]

அரை குறையாக உலர்த்தப்பட்ட உணவுப் பொருள்கள், முழுவதும் உலர்த்தப்பட்ட பொருள்களைவிடச் சுவையிலும், வாசனையிலும், தோற்றத்திலும் சிறந்து உள்ளன. ஆனால் அரைகுறை உலர்த்தலில்

---

1. plant and animal parasites 2. Bombay-duck
3. dehydro-irradiation

உணவுப் பொருள்களில் உள்ள நீரின் பிசுபிசுப்பால் பாக்டீரியா, காளான்கள்[1] ஆகியவை செழித்து வளர்ந்து, தீங்கை விளைவிக்கின்றன. அரைகுறையாக உலர்த்தப்பட்ட வாழைப் பழங்கள், பாம்பே-டக், இருல்[2], ரொட்டி, சப்பாத்தி, 'நான்'[3] ஆகியவற்றை காமாக் கதிருக்கு உட்படுத்தி, மீன்களை 12 வாரங்களுக்கும், பழங்களை 14 வாரங்களுக்கும் அழுகாமலும், ரொட்டி, சப்பாத்தி, நான் ஆகியவை 10இல் இருந்து 15 நாட்கள் வரை காளான் பூக்காமலும் பாதுகாக்க முடிந்துள்ளது.

கிருமி அழிப்பும் பாஸ்டர் முறையும்[4]

பழங்களை, காய்கறிகளை லேசாக உஷ்ணப்படுத்தி, ரசாயனப் பொருள்களுடன் கலந்து டின்களில் அடைத்துப் பதப்படுத்துவது இன்று பயன்பட்டுவரும் ஒரு முறையாகும். ஆனல், வெப்பப்படுத்திக் கிருமிகளை அழிக்கும் முறையில் உணவுப்பொருள்கள் பொதுவாக நிறத்தையும், நல்ல தோற்றத்தையும் இயற்கைச் சுவையையும் ஓரளவு இழந்து விடுகின்றன. மேலும் ஆரோக்கியத்திற்கு அடிப்படையான விட்டமின்[5] சத்துக்களும் அழிக்கப்பட்டு விடுகின்றன. ஆனல், முதலில் குறைவான காமாக் கதிர்வீச்சுக்குள்ளாக்கி, பின் மிக லேசாக உஷ்ணப் படுத்தும் பாஸ்டர் முறையால் கிருமிகள் அழிக்கப்பட்ட மா, கொய்யா, ஆப்பிள், சப்போட்டா போன்ற பழங்கள் நெடு நாட்கள் கெடாமல் உள்ளன. மேலும் அவற்றின் இயல்பான குணம், மணம், சுவை விட்டமின் ஆகியவையும் அழிக்கப்படுவதில்லை.

REFERENCES

1. P. ALEXANDER: "*Atomic Radiation and Life*" Pelican Books, Harmondsworth, Middlesex.

2. C. AUERBACH: "*Genetics in the Atomic age*" Oliver and Boyd, London.

3. E. BROWNING AND W. V. MAYNEORD: "*Harmful Effects of Ionizing Radiations*" Elsevier Monographs, Elsevier Publishing Co., London.

4. E. P. CRONKITE AND V. BOND: "*Radiation Injury in Man*" Charles C. Thomas, Springfield, Illinois.

5. T. DOBZHANSKY: "*Radiation, Genes and Man*" Heinemann, London.

---

1. fungi 2. prawn
3. nan (சப்பாத்தி போன்ற மற்ருெரு வட இந்திய உணவு)
4. pasteurization 5. vitamin

6. IAEA SAFETY SERIES 3 : "*Medical Addendum to the Safe Handling of Radioisotopes*" IAEA, Vienna.

7. A. LACASSAGNE AND G. GRIEOUROFF : "*Action of Radiation on Tissues*" Grue and Stratton, New York.

8. D. E. LEA : "*Action of Radiation on Living Cells*" Cambridge University Press, London.

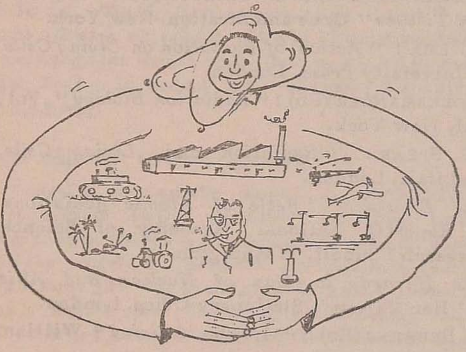
9. A. HOLLAEANDER (ED) : "*Radiation Biology*" Vol 1, McGraw Hill, New York.

10. F. G. SPEAR : "*Radiation and Living Cells*" Chapman and Hall, London.

11. "*The Biological Effects of Atomic Radiations*" (Summary Reports) National Academy of Sciences, National Research Council, Washington.

12. "*The Hazards to Man of Nuclear and Allied Radiations*" Her Majesty's Stationery Office, London.

13. C. F. BEHRENS (ED) : "*Atomic Medicine*" Williams and Wilkins, Baltimore.



14. அணுக்கதிர்-ஐஸோடோப்புகள்

[தி. நா. ரங்கராஜன், எஸ். ஜெயபாரதன்]

அணுசக்தியின் ஆக்க வேலை பற்பல வேறுபட்ட துறைகளில் பெருகிப் பரந்து நன்மை பயக்கிறது. இவ்வகையில் தொண்டு புரியும் சாதனங்களில் ஒன்றே கதிரியக்க ஐஸோடோப்பு. இதுவே சுருக்க மாகக் கதிர் ஐஸோடோப்பு எனப்படுகிறது. இது பயன்படாத துறையே இல்லை எனக் கூறலாம். இக்கதிர்ஐஸோடோப்புகளின் ஆக்க வேலைகள் யாவும் பற்றி இங்குக் கூறுதல் இயலாது. அவற்றில் ஒருசில பற்றி மட்டுமே சுருக்கமாகக் காண்போம்.

ஒரே மூலகத்தின் வெவ்வேறு அணுத்திணிவெண்[1] கொண்ட அணுக்கள் ஐஸோடோப்புகள் எனப்படுவதாக மூன்றாம் அத்தியாயத்தில் கண்டோம். சில ஐஸோடோப்புகள் நிலையற்றவை; தாமாகவே சிதைபவை. இவையே கதிரியக்க ஐஸோடோப்புகள் என அழைக்கப் படுவதாகவும் பார்த்தோம். ஒவ்வொரு கதிரியக்க ஐஸோடோப்பும் ஒரு குறிப்பிட்ட அரை ஆயுட்காலம் (அ.ஆ.கா.) கொண்டது. கதிரியக்க ஐஸோடோப்புகளின் சிறப்பான பண்பு அவை குறிப்பிட்ட

1. mass number

அ.ஆ.கா. கொண்டு ஆல்ஃபா, பீட்டா, காமா போன்ற கதிர்களை வெளி விடுவது ஆகும். இக் கதிர்வீச்சை உணர்வு கருவிகள் மூலம் அளத்தல் இயலும். எனவே, கதிர்வீச்சு, கதிரியக்க ஐஸோடோப்புகளை அடையாளம் காட்டும் ஒரு குறிப்பு ஆகும்.

பொதுவாக, கதிரியக்க ஐஸோடோப்புகளை இரு வகைகளாகப் பிரிக்கலாம். முதலாவது வகை, இயற்கைக் கதிரியக்க ஐஸோடோப்புகள். இவை இயற்கையில் கிடைப்பன. இயற்கையில் ஒரு மூலகமானது, பொதுவாக அதன் பல ஐஸோடோப்புகளின் கலவையாகவே கிடைக்கின்றது. இந்த ஐஸோடோப்புகளில் சில கதிரியக்கம் கொண்டவையாக இருக்கலாம். இயற்கைக் கதிரியக்க ஐஸோடோப்புகள் பொதுவாக நீண்ட அ. ஆ. கா. கொண்டவை. இயற்கையில் கிடைக்கும் சில கதிரியக்க ஐஸோடோப்புகளைப் பற்றிய விவரங்களை அட்டவணை 14-1-இல் காணலாம். இவ்வட்டவணையில், ஐஸோடோப்பின் அ. ஆ. கா., வெளிப்படும் கதிர்வீச்சு, இயற்கை மூலகத்தில் அதன் சதவிகித அளவு ஆகியவை கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 14-1

இயற்கைக் கதிர்ஐஸோடோப்புகள்

ஐஸோடோப்பு	குறி	அ. ஆ. கா. (ஆண்டுகள்)	கதிர் வீச்சு**	இயற்கை மூலகத்தில் அளவு சதவிகிதம்
ட்ரிடியம்*	H^3	12·3	β^-	10^{-15}
கார்பன்-14*	C^{14}	5600	β^-	10^{-12}
பொட்டாசியம்-40[1]	K^{40}	$1{\cdot}25\times10^9$	$\beta^+\gamma$, $\times$ கதிர்	0·012
ருபிடியம்-87[2]	Rb^{87}	5×10^{10}	β^-	27·2
இண்டியம்-115[3]	In^{115}	6×10^{14}	β^-	95·8
ரோடியம்-187[4]	Rh^{187}	5×10^{10}		99·7
தோரியம்-232	Th^{232}	$1{\cdot}4\times10^{10}$	α, γ	100
யுரேனியம்-238	U^{238}	$4{\cdot}5\times10^9$	α, γ	99·3

*காற்றணுக்களுடன் அண்டக்கதிர்கள் மோதுவதால் தோன்றுபவை.

** விளக்கம் : α–ஆல்ஃபா, β–பீட்டா, γ–காமா.

1. potassium 2. rubidium 3. indium 4. rhodium

இரண்டாம் வகையான செயற்கைக் கதிரியக்க ஐஸோடோப்புகள் மனிதனுல் செயற்கையாக கருக்கிரியைகளின் மூலம் உற்பத்தி செய்யப் படுவன ஆகும். இவை பொதுவாக இயற்கைக் கதிர் ஐஸோடோப்பு களைவிடக் குறைவான அ. ஆ. கா. கொண்டவை. இத்தகைய ஐஸோ டோப்புகளே இன்று பற்பல துறைகளில் ஏராளமாகப் பயன்படு கின்றன.

கதிர்ஐஸோடோப்புகளின் உற்பத்தி

செயற்கைக் கதிர்ஐஸோடோப்புகள் பொதுவாக இரு முறைகளில் உற்பத்தி செய்யப்படுகின்றன. முதல் முறையில் ஸைக்ளோட்ரான்[1] போன்ற வேகவளர்த்தி[2]கள் மூலம் பெறப்படும் புரோட்டான் (p), டியூட்ரான் (d) போன்ற துகள்களைப் பயன்படுத்தி வேண்டிய கருக்கிரியைகளை நிகழ்த்தி கதிர்ஐஸோடோப்புகளைப் பெறலாம். மற்ருெரு முறையில் அணுஉலையில் நியூட்ரான்களைக் கொண்டு, கதிரூட்டுவதன் மூலம் வேண்டிய ஐஸோடோப்புகளைத் தயாரிக்கலாம்.

வேகவளர்த்திகளில் கதிர்ஐஸோடோப்பு தயாரித்தல்

நியூட்ரான் எண் அதிகமில்லாத ஐஸோடோப்புகள் பெரும்பாலும் புரோட்டான், டியூட்ரான் இவை புரியும் கிரியைகள் மூலம் பெறப்படு கின்றன.

உதாரணமாக,

$$_{15}P^{31}+{}_1d^2\rightarrow {}_{15}P^{32}+{}_1p^1$$

அணுஉலையில் கதிர்ஐஸோடோப்பு தயாரித்தல்

பெரும்பாலும் கதிர்ஐஸோடோப்புகளைத் தயாரிக்க அணுஉலையே பயன்படுகிறது. அணுஉலையிலேயே இரு முறைகளில் கதிரியக்க ஐஸோடோப்புகளைத் தயாரிக்கலாம். முதலாவது முறை நியூட்ரான் கிரகிப்புக் கிரியைகளைப் பயன்படுத்துவது ஆகும். எந்த ஐஸோ டோப்பு வேண்டுமோ, அதற்குத் திணிவுஎண் 1 குறைவான ஐஸோ டோப்பை உலையில் வைத்து நியூட்ரான்களால் தாக்கி வேண்டிய கதிர் ஐஸோடோப்பைப் பெறலாம்.

உதாரணமாக,

$$_{79}Au^{197}+n\rightarrow {}_{79}Au^{198}+\gamma$$

சில சமயம் (n,p) கிரியைகளும் பயன்படுகின்றன.

உதாரணமாக,

$$_{16}S^{32}+{}_0n^1\rightarrow {}_{15}P^{32}+{}_1p^1$$

---

1. cyclotron 2. accelerator

மற்ற முறையில் பிளவு விளைபொருள்களிலிருந்து கதிரியக்க ஐஸோடோப்புகள் பிரித்தெடுக்கப்படுகின்றன. அணுஉலையில் நிகழும் பிளவுக் கிரியைகளில் வெளிப்படும் பிளவுத்துண்டங்கள் பெரும்பாலும் கதிரியக்கம் வாய்ந்தவை. பிளவுக் கிரியைகளில், பலவேறு வகைப் பிளவுத் துண்டங்கள் உண்டாவது சாத்தியம் என்று முன் ஓர் அத்தியாயத்தில் கண்டோம். இவ்வாறு, பிளவு விளைபொருள்களிலிருந்து பல கதிர்ஐஸோடோப்புகள் கிடைக்கின்றன. எரிவுற்ற எரிபொருள்களிலிருந்து பிரத்தியேக முறைகள் மூலம் இவற்றைப் பிரித்தெடுத்துப் பயன்படுத்தலாம்.

மேற்கண்ட முறைகளில் தயாரிக்கப்படும் செயற்கைக் கதிர் ஐஸோடோப்புகள் சிலவற்றைப் பற்றிய விவரங்களை அட்டவணை 14-2இல் காணலாம்.

அட்டவணை 14-2

செயற்கைக் கதிர்ஐஸோடோப்புகள்

கதிர் ஐஸோடோப்பு	குறி	அரை ஆயுட் காலம்	கதிர் வீச்சு	தயாரிக்கும் முறை
கோபால்ட்–57	*Co*–57	270 நாட்கள்	*X*, γ	வேக வளர்த்திகள் மூலம்
இரும்பு–55	*Fe*–55	2·94 ஆண்டுகள்	*X*-கதிர்	
துத்தநாகம்–65	*Zn*–65	250 நாட்கள்	*X* கதிர் β^+, γ	
பாஸ்ஃபரஸ்–32	*P*–32	14·3 நாட்கள்	β^-	நியூட்ரான் கிரியைகள் மூலம்
கந்தகம்–35	*S*–35	87 நாட்கள்	β^-	
தங்கம்–198	*Au*–198	2·69 நாட்கள்	β^-, γ	
புளூட்டோனியம் –239	*Pu*–239	24300 ஆண்டுகள்	α, γ	
ஸ்ட்ரான்ஷியம் –90	*Sr*–90	28 ஆண்டு	β^-	பிளவு விளைபொருள்களிலிருந்து பிரித்தெடுத்தல் மூலம்
வெள்ளி–111	*Ag*–111	7·6 நாள்	β^-, γ	
காட்மியம்–115	*Cd*–115	43 நாள்	β^-, γ	
ஸீரியம்–144	*Ce*–144	285 நாள்	β^-, γ	

கதிரூட்டுதல்[1]

வேண்டிய கதிர்ஐஸோடோப்புகள் எத்தனை தூயதாக இருக்க வேண்டும், எந்த வேலைக்குப் பயன்படுகின்றன, எந்த உருவத்தில்

1. irradiation

அமையவேண்டும் என்பவற்றைப் பொறுத்து கதிரூட்டப்படவேண்டிய பொருள் தேர்ந்து எடுக்கப்படுகிறது. வேண்டிய பொருளை மூலக உருவிலேயே எடுத்துக் கொள்ளுதல் எப்பொழுதும் சாத்தியம் இல்லை; பெரும்பாலும் கூட்டுப் பொருளாகவே எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது. இத்தகைய கூட்டுப் பொருள் வேண்டிய ஐஸோடோப்பை உற்பத்தி செய்யத்தக்கதாகவும், வேண்டாத கதிர்ஐஸோடோப்புகளை உண்டாக்காததாகவும் இருத்தல் வேண்டும். தவிரவும் இக்கூட்டுப் பொருளிலிருந்து வேண்டிய கதிர்ஐஸோடோப்பைப் பிரித்தெடுப்பது எளிதாகவும் இருக்கவேண்டும்.

தயாரிக்கப்படும் ஐஸோடோப்பு எந்த வேலைக்குப் பயன்படுகிறது, அம்மூலகம் அல்லது கூட்டுப்பொருளின் பௌதிக ரசாயன குணங்கள் யாவை என்பவற்றைப் பொறுத்து அதன் உருவம் தீர்மானிக்கப்படுகிறது. மேலும், அது நம்பகமாகப் பாதுகாக்கப்படக்கூடிய வகையிலும் தயாரிக்கப்படவேண்டும். புற்று நோய்ச் சிகிச்சையில் பயன்படும் ரேடியம், ஊசி உருவத்தில் தயாரிக்கப்பட்டு சுமார் 1 செ.மீ. நீளம், 1 மி.மீ. விட்டம் கொண்ட பிளாட்டினக் குழாய்களில் அடைக்கப்பட்டு வைக்கப்படுகிறது. சிறு தங்கமணிகளை ஒரு சிறு குழாயில் அடைத்துக் கதிரூட்டி, தங்கம்–198 தயாரிக்கப்படுகிறது. டான்டலம்–182[1] ஒரு கம்பி உருவத்தில் தயாரிக்கப்படுகிறது. ஸீஷியம்[2], தூய உலோகமாக இருக்கையில் மிகவும் அரிமானம் உள்ளதாகையால், ஸீஷியம் ஐஸோடோப்புகள் ஸீஷியம் ஸல்ஃபேட்டாகத் தயாரிக்கப்பட்டுச் சிறு தகடுகளாக ஒரு துறுவேரு எஃகுக் குழாயில் அடைக்கப்படுகின்றன.

கதிர்ஐஸோடோப்புகள் பயன்படும் முறைகள்

கதிர்ஐஸோடாப்புகள் பயன்படும் முறைகளைப் பொதுவாக நான்காகப் பிரிக்கலாம்.

(1) **கால அளவீட்டு முறை**[3]: ஒவ்வொரு கதிர்ஐஸோடோப்பும் ஒரு குறிப்பிட்ட அரை ஆயுட்காலம் கொண்டது எனக் கூறினோம் அல்லவா? இப்பண்பைப் பயன்படுத்தி கதிர்ஐஸோடோப்பு கலந்த சில பொருள்களின் காலத்தை (வயதை) நிர்ணயிக்கமுடியும். இதுவே **கால அளவீட்டுமுறை** எனப்படுகிறது. இம்முறையில், பெரும்பாலும் இயற்கைக் கதிர்ஐஸோடோப்புகளே பயன்படுகின்றன.

(2) **டிரேஸர் முறை**[4]: கதிர்ஐஸோடோப்புகள் வெளிவிடும் கதிர்வீச்சை உணர்வு கருவிகள் மூலம் கண்டறிந்து கதிர்ஐஸோடோப்புகளின் இருப்பை உணர்தல் எளிது. மேலும் ஒரு கதிர்ஐஸோடோப்பு மிகச்சிறு அளவிலேயே மற்றொரு பொருளோடு கலந்திருந்

---

1. tantalum-182
2. cesium
3. dating technique
4. tracer method

தாலும் அதைத் தகுந்த உணர்வு கருவிகள் மூலம் கண்டுபிடித்தல் இயலும். வேண்டிய பொருளுடன் கதிர்ஐஸோடோப்பைக் கலப்பதன் மூலம் அப்பொருளை அடையாளம் காட்டக்கூடிய ஒரு குறியீடு கிடைத்து விடுகிறது. பின்னர் அப்பொருளுக்கு ஏற்படும் கால, இட மாறுதல்களை அத்துடன் கலந்த கதிர்ஐஸோடோப்பின் துணைகொண்டு கண்காணிப்பது எளிதாகிறது. இம்முறை டிரேஸர் முறை எனப் படுகிறது. இது கணக்கற்ற துறைகளில் பெரிதும் பயன்படுகிறது.

(3) கதிர்வீச்சு முறை: கதிர்வீச்சின் விளைவுகளைப் பயன் படுத்தும் முறையைக் கதிர்வீச்சு முறை எனலாம். உதாரணமாக, கதிர்வீச்சு செல்களை அழிக்கவல்லது. மருத்துவத்துறையில் இதே கதிர்வீச்சு வேண்டாத புற்றுநோய் செல்களை அழிக்கப் பயன் படுகிறது. கதிர்வீச்சு காரணமாக உணர்வு கருவிகளில் தோன்றும் மின்துடிப்புகள் பற்பல கட்டுப்பாட்டுத் திட்டங்களுக்குப் பயன் படலாம். மற்றும், காமாக் கதிர்வீச்சு தடிப்பான, அடர்த்தியான பொருள்களைக்கூட ஊடுருவி அவற்றைப் படம் பிடிக்க உதவும்.

(4) கதிர்தூண்டிப் பகுக்கும் முறை[1]: ஒரு பொருளுக்கு நியூட் ரான்கள், புரோட்டான்கள் முதலியன கொண்டு கதிரூட்டும்போது அதில் உள்ள அணுக்களைப் பொறுத்துச் சில கதிர்ஐஸோடோப்புகள் தோன்றுவதாகப் பார்த்தோம். அவற்றினின்று வெளிப்படும் கதிர் வீச்சின் தன்மை, சக்தி, அரை ஆயுட்காலம், இவற்றை அளப்பதன் மூலம் ஐஸோடோப்பை உணர்ந்தறிதல் சாத்தியம். எனவே ஒரு பொருளுக்குக் கதிரூட்டி, அதனால் வெளிப்படும் கதிர்வீச்சையளப்பதன் மூலம் குறிப்பிட்ட மூலகம் அப்பொருளில் உள்ளதா, எந்த அளவில் உள்ளது என நிர்ணயித்தல் கூடும். இம்முறை கதிர்தூண்டிப் பகுக்கும் முறை எனப்படுகிறது.

மேற்கண்ட நான்கு முறைகளும் தனியாகவோ சேர்ந்தோ எண்ணற்ற ஆக்கவேலைகளுக்குப் பயன்படுகின்றன. கதிர்ஐஸோ டோப்புகள் பயன்படும் துறைகள் பெருகிக்கொண்டே வருகின்றன. ஒரு சில துறைகளில் அவற்றின் சில பணிகளைப் பற்றி மட்டுமே நாம் இங்குக் காண்போம்.

விஞ்ஞானத்துறையில் கதிர்ஐஸோடோப்புகளின் பணி

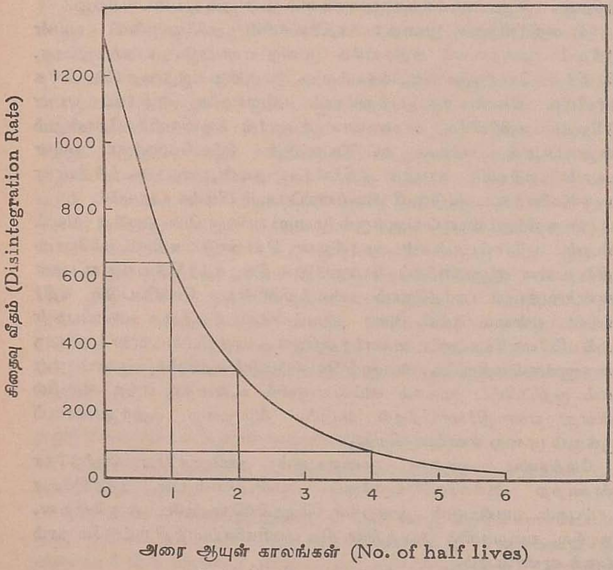
கால அளவீடு

ஒரு கதிர்ஐஸோடோப்பு தான் தோன்றிய காலத்திலிருந்து, சிதைந்து அளவில் தேய்ந்துகொண்டே போகிறது.

---

1. radioactivation analysis

படம் 14–1இல் காட்டியுள்ளதுபோல் ஒவ்வோர் அரை ஆயுட் கால முடிவிலும் சிதைவுகளின் எண்ணிக்கை பாதிப்பாதியாகக் குறைந்து கொண்டே போகிறது. ஆரம்பத்தில் உள்ள அளவும், கதிர்ஐஸோடோப் பின் அரை ஆயுளும் தெரிந்தால் சிதைவு வீதத்தை அளப்பதன்



படம் 14-1. சிதைவு வீத வரைப்படம்

மூலம் எவ்வளவு காலம் கழிந்துள்ளது எனக் கணக்கிடலாம். ஆயினும் சுமார் 10 அரை ஆயுட் காலத்திற்கு மேற்பட்டுவிடின் எஞ்சிய ஐஸோ டோப்பின் அளவு ஆரம்பத்தில் உள்ள அளவில் 1000இல் 1 பங்குக் கும் குறைவாக இருக்கும். இக்குறைவான அளவைத் துல்லியமாக அளத்தல் பொதுவாகக் கடினம் ஆதலால் 10 அரை ஆயுட் காலத் திற்கு மேற்பட்ட காலத்தை அவ்வளவு திருத்தமாக நிர்ணயிக்க முடியாது.

புவிபௌதிகத்துறையில்[1] கால அளவீட்டு முறை பெரிதும் பயன்படுகிறது. கோடிக்கணக்கான ஆண்டுகட்கு முன்பு நம் பூமியின் உட்பகுதியில் இருந்த திரவம் மேற்பரப்புக்கு உந்தப்பட்டு உறைந்து பாறைகளாக மாறியது. இப்பாறைகளில் யுரேனியம் உள்ளது. யுரேனியம் கதிரியக்கம் கொண்டது. அதன் அரை ஆயுட் காலம் 450 கோடி ஆண்டுகள். யுரேனியம் படிப்படியாகச் சிதைந்து இறுதியில் கதிரியக்கமற்ற காரீய ஐஸோடோப்பாக மாறுகிறது. காலம் செல்லச் செல்ல யுரேனியத்தின் அளவு குறைந்து காரீயத்தின் அளவு அதிகரிக்கிறது. எனவே, தற்சமயம் பாறையில் இருக்கும் யுரேனியம், காரீயம் இவற்றின் விகிதத்தை அளப்பதன் மூலம் பாறையின் வயதை நிர்ணயிக்கலாம். இம்முறை மூலம் பூமியின் வயது சுமார் 500 கோடி ஆண்டுகள் என்று கணக்கிட்டுள்ளனர். இவ்வித நீண்ட கால அளவீட்டு முறைக்கு ருபிடியம்-ஸ்ட்ரான்ஷியம் எடை விகிதத்தையும்[2] பயன்படுத்தலாம். ருபிடியம் சிதைவதால் ஸ்ட்ரான்ஷியம் மட்டுமே தோன்றுவதால் இம்முறை முன்கூறிய கால அளவீட்டு முறையினும் சிறந்தது.

கார்பன்–14 கால அளவீட்டு முறை

மற்ருெரு முறை, கார்பன்–14 கால அளவீடு முறை ஆகும். (கார்பன்–14இன் அரை ஆயுட்காலம் 5600 ஆண்டுகள்.) நமது காற்று மண்டலத்தை இடைவிடாது வந்தடையும் அண்டக் கதிர்கள் காற்றணுக்களுடன் மோதுவதால் கார்பன்–14 உண்டாகிறது. இக் கார்பன்–14இல் ஒரு பகுதி காற்றிலுள்ள ஆக்ஸிஜனுடன் கலந்து கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு வாயுவாக மாறுகிறது.

தாவரங்கள், தம் ஒளிச்சேர்க்கைக்காகக்[3] காற்றில் உள்ள கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு வாயுவைப் பயன்படுத்துகின்றன. இக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடைக் கரிமக் கூட்டுப் பொருள்களாக[4] மாற்றித் தம்முள்ளே சேமித்து வைத்துக்கொண்டே இருக்கின்றன. தாவரங்கள் உயிரோடிருக்கும்வரை இந்நிகழ்ச்சி நடந்துகொண்டே இருக்கிறது. இந்தக் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடில் ஓரளவு கார்பன்–14 இருப்பதால் உயிர்வாழும் தாவரங்களில் கார்பன்–14 கொஞ்சம் கொஞ்சமாகச் சேர்ந்துகொண்டே வருகிறது.

ஆனால் கார்பன்–14 கதிரியக்கம் கொண்டது ஆகையால், சிதைவுற்று, கொஞ்சம் கொஞ்சமாக அளவில் குறைகிறது. சில நாட்கள் கழிந்த பிறகு தாவரம் கார்பன்–14ஐச் சேமித்து வைக்கும் வீதமும், கார்பன்–14 கதிரியக்கச் சிதைவால் அளவில் குறையும் வீதமும் சமமாகி விடுகின்றன.

---

1. geophysics
2. rubidium-strontium ratio
3. photosynthesis
4. organic compounds

இதன் காரணமாக, சில நாட்களுக்கு மேல் உயிர்பிழைத்திருக்கும் எல்லாத் தாவரங்களிலும் உள்ள கார்பன்–14இன் சதவிகித அளவு (எடைக்கு எடை) ஏறக்குறைய சமமாகவே இருக்கும். ஆக, உயிர் வாழும் தாவரங்களிலெல்லாம் உள்ள கார்பன்–14இன் விகிதம் (எடைக்கு எடை, ஏறக்குறைய) ஒரே சீரானதாக இருக்கும்.

தாவரங்கள் மடிந்த பின்னர் ஒளிச்சேர்க்கை நிகழ்வதில்லை யாதலால், கார்பன்–14 சேமிக்கப்படுவதில்லை. ஏற்கெனவே சேமிக்கப் பட்டிருக்கும் கார்பன்–14 தனது கதிரியக்கம் காரணமாக சிறிது சிறிதாக அழிய ஆரம்பிக்கிறது. எனவே, அதில் உள்ள கார்பன்–14 சிதைந்து அளவில் குறையத் தொடங்குகிறது. எனவே, மடிந்த தாவரங்கள் அல்லது அவற்றாலான பொருள்கள் இவற்றில் உள்ள கார்பன்–14இன் அளவை உயிருள்ள தாவரத்தில் உள்ள கார்பன்–14இன் அளவோடு ஒப்பிட்டு நோக்கி, அது மடிந்த பின் கழிந்த காலத்தைக் கணக்கிடலாம். பழங்கால மரச்சாமான்கள், பழைய ஓலைச் சுவடிகள், புத்தகங்கள் இவற்றின் வயதை இம்முறைமூலம் கணக்கிட முடியும். தொல்பொருள் ஆராய்ச்சியிலும் சரித்திர ஆராய்ச்சியிலும் இது மிகவும் பயன்படுவதாகும். பனிப்பாறைகளில் சிக்கி அழுந்தி யுள்ள தாவரங்களின் வயதை கார்பன்–14 அளவீட்டு முறையில் கணக் கிடுவதின் மூலம் இப்பனிப்பாறைகளைப்பற்றிய ஆராய்ச்சியில் புவி இயல் வல்லுனர் மிகுந்த முன்னேற்றம் கண்டுள்ளனர். இம்முறை மூலம், வட அமெரிக்காவிலுள்ள பிரம்மாண்டமான பனிப்பாறைகள் சுமார் 10,000 ஆண்டுகட்கு முன்பு தோன்றின என்று அறியப்பட் டுள்ளது. சிந்துவெளி நாகரிகத்தைச் சேர்ந்த ஹாரப்பாவில் கிடைத்த தொல்பொருள்களைச் சோதித்து அந்நாகரிகத்தின் காலத்தையும், எகிப்தின் அரச வம்சத்தைச் சார்ந்த டுட்-ஆங்க்-அமன்[1] என்பானுக் காகக் கட்டப்பட்ட பிரமிடின்[2] காலத்தையும் அறிய, இந்த கார்பன்–14 கணக்கீட்டு முறை பெரிதும் உதவியிருக்கிறது.

நீரியலில்[3] கதிர்ஐஸோடோப்பு

நீர் பெரிதும் பயன்படும் பொருள். மக்களின் குடிநீர்த் தேவைக் கும், தொழிற்சாலைகட்கும், வேளாண்மைக்கும் இன்னும் பற்பல வேலை கட்கும் நீர் ஏராளமாகத் தேவைப்படுகிறது. ஆனால், வேண்டிய இடத்தில் வேண்டிய அளவு நீர் கிடைப்பதில்லை. தேவைப்பட்ட அளவு நீரை நீர்நிலைகள் கொண்டிருப்பதில்லை. எனவே, பூமிக்கடியில் பரந்த விஸ்தீரணத்தில் பரவியிருக்கும் நீரைப் பயன்படுத்தும் முயற்சிகள் தற்காலத்தில் தீவிரமாக நடக்கின்றன. இப்பாதாள நீர்த்தேக்கங் களுக்கு[4] மழைநீர் மூலமே நீர் கிடைக்கிறது. இத்தகைய தேக்கங்

1. Tut-Ankh-Amen 2. pyramid 3. hydrology
4. underground reservoirs

களிலிருந்து நீரைப் பம்ப்பு செய்து எடுக்கும்போது, அவற்றில் உள்ள நீர் எவ்வளவு காலம் நீடித்திருக்கும், ஆண்டுக்கு எவ்வளவு நீர் எடுக்கலாம் என்பன அறிதல் அவசியமாகும். சில ஆண்டு மழை நீர் மட்டுமே தேங்கியிருக்குமானுல் தேக்கம் விரைவாக வற்றிவிடும். இப் பிரச்சினையைத் தீர்க்க உதவுகிறது கதிர்ஐஸோடோப்பு.

ட்ரிடியம் என்னும் ஹைடிரஜனின் ஐஸோடோப்பு அண்டக்கதிர் களால் உண்டாக்கப்பட்டு மழை நீருடன் கலந்து தரையை அடை கிறது. மழை நீர் பூமிக்குள் ஊடுருவிச் சென்று பாதாளத் தேக்கங்க ளாகப் பரிணமிக்கிறது. மழைநீருடன் சேர்ந்த ட்ரிடியம் சிதைந்து அளவில் குறைகிறது. ஆனுல், புதிதாக நீர் சேரச்சேர ட்ரிடியமும் சேர்கிறது. தேக்கத்திலுள்ள நீரில் உள்ள ட்ரிடியத்தின் அளவை அளந்து அத்தேக்க நீரின் வயதைத் தீர்மானிக்கலாம். அதாவது, எத்தனை ஆண்டுகளாக மழைநீர் தேக்கத்தில் சேர்கிறது என அறியலாம். இம்முறையில் வயதை நிர்ணயிக்க மற்ருெரு விஷயமும் தெரிந்துகொள்ளவேண்டும். புதிய மழைநீர்க் கலப்பில்லாமல் குறிப் பிட்ட ஆண்டுகள் வைக்கப்பட்டுள்ள நீரில் ட்ரிடியத்தின் அளவு என்ன என்பது தெரிதல் வேண்டும். இதை எப்படி அறிவது? இப்பிரச் சினையை எளிதில் தீர்த்துவைத்தது மது. ஆம், போதை தரும் மது தான். நல்ல சுவை ஏற்படும் என்பதற்காக, மதுவை ஆண்டுக் கணக் காகப் புதைத்து வைக்கும் பழக்கம் வெகு நாட்களாகவே இருந்து வருகிறது. இவ்வாறு புதைக்கப்பட்ட மதுவகைகளை எடுத்து அவற்றி லுள்ள ட்ரிடியத்தின் அளவு அளக்கப்படுகிறது.

100—200 ஆண்டுகட்கு மேற்பட்ட வயதை ட்ரிடியம் முறையில் அளக்க முடியாது. இதற்கு கார்பன்–14ஐப் பயன்படுத்தலாம். ஆனுல் இம்முறையில் பல சிக்கல்கள் உள்ளன. 5000 ஆண்டுகட்கு மேற்பட்ட வயதையே நம்பகமாக அளக்கமுடியும். கார்பன்–14 முறை கொண்டு அளந்ததில் வட அமெரிக்காவில் உள்ள சில பாதாள நீர்த் தேக்கங்கள் 20,000 ஆண்டுகட்கும் மேற்பட்ட வயது கொண்ட நீர் உடையன எனத் தெரிய வந்துள்ளது. நம் நாட்டில் பஞ்சாப், குஜராத் மாநிலங்களில் ட்ரிடியம், கார்பன்–14 முறைகளைப் பயன் படுத்தியதில் பாதாள நீர்த்தேக்கங்கள் 25—50 ஆண்டுகள் வயது மட்டுமே கொண்டுள்ளன என அறியப்பட்டுள்ளது.

சேதமில்லாத் தொல் பொருள் ஆராய்ச்சி

தொல்பொருள் ஆராய்ச்சியில்[1] பழைய மட்பாண்டங்கள் நாணயங்கள் அவற்றில் உள்ள மூலகங்கள், அவற்றில் கலந்துள்ள அசுத்தங்கள் பற்றிய ஆய்வு ஒரு முக்கிய அம்சமாகும். உதாரணமாக, பொன், வெள்ளி நாணயங்களில் மற்ற உலோகங்களின் கலப்பு

1. archaeological research

எவ்வளவு என அறிதல் ஒரு பிரச்சினே. ரசாயன முறையில் இதைக் காண, அரியவையான இப்பொருள்களே உருக்குலேக்க நேரிடும். மேலும் இம்முறைகளில் நாணயங்கள் அதிக அளவில் தேவைப்படும். கதிரூட்டல் முறை இப்பிரச்சினேயை எளிதில் தீர்க்கிறது. அணுஉலேயில் நாணயங்களுக்கு நியூட்ரான் கதிரூட்டி, பின்னர் வெளிப்படும் கதிர் வீச்சின் தன்மை, சக்தி இவற்றை அளந்து கலப்பு உலோகத்தின் இருப்பு, அளவு ஆகியவற்றைக் கணிக்கலாம். இம்முறை துல்லிய மானது; சேதமில்லாதது; குறுகியகாலத்தில் செய்யக்கூடியது; குறைந்த அளவு நாணயங்களேக் கொண்டும் செய்யக்கூடியது; ஒரே நாணயத்தையே திரும்ப உபயோகிக்கவோ, கலந்துள்ள பல அசுத் தங்களேத் தனித்தனியே ஆராயவோ இம்முறை வழிவகுக்கிறது.

தொழிற் துறையில் கதிர்ஐஸோடோப்பின் தொண்டு

தரக் கட்டுப்பாட்டிற்குக்[1] கதிரியக்கம்

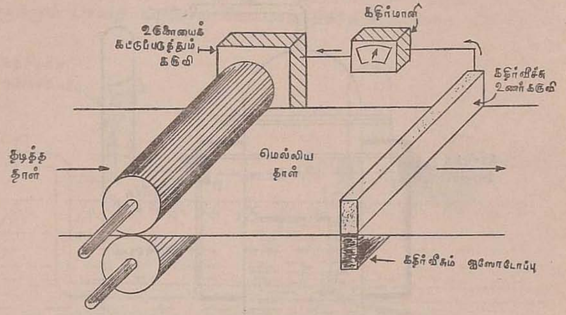
காகித உற்பத்திச் சாலேயில் கதிர்ஐஸோடோப்பின் பணியைக் காண்போம். காகிதங்கள் பலவிதத் 'தடிமன்களில் தயாரிக்கப்படு கின்றன. காகித உற்பத்தியில் முக்கிய அம்சம், தாளின் தடிமன்[2] வேண்டிய அளவிற்கு இருக்கவேண்டும்; தாள்முழுவதும் தடிமன் சீராக இருக்கவேண்டும். இதுதவிர, வேலே நிற்காமல் தொடர்ச்சி யாகச் செயல்படவேண்டும். இவ்விதம் தடிமன் கட்டுப்பாடு செம்மை யாக நிகழ கதிர்ஐஸோடோப்பு உதவுகிறது.

மேற்கூறிய கட்டுப்பாட்டுத் திட்டம் படம் 14-2இல் காட்டப் பட்டுள்ளது.

தடித்த தாள் ஜோடிஜோடியாக இருக்கும் பல உருளேகளின் ஊடேசென்று மெல்லியதாகிறது. தாளின்கீழே நிக்கல்-63 என்ற கதிர் ஐஸோடோப்பு கொண்ட சாதனம் ஒன்று இருக்கும். நிக்கல்-63 பீட்டாக்கதிர்களே வெளிவிடுகிறது. இந்த பீட்டாக்கதிர்கள் தாளேக் கடந்து ஓர் உணர்கருவியில் படுகின்றன. தாளின் தடிமன் பீட்டாக் கதிர்களின் சக்தியைக் குறைத்து இவற்றை நிறுத்தியும்விடுகிறது. எனவே, தாளின் தடிமனுக்கு ஏற்ப உணர்கருவியில் படியும் பீட்டாக் கதிர்களின் எண்ணிக்கையும் அதனுல் பெறப்படும் மின்சமிக்ஞையும் மாறுகின்றன. இம்மின்சமிக்ஞையை மின்பெருக்கியால் பெருக்கி, உருளேகளே வேண்டியபடி இயங்கச்செய்யலாம். தடிமன் வேண்டிய அளவுக்கு மேற்பட்டால் உருளேகளின் இடைவெளி குறையும்படியும் வேண்டிய அளவுக்குக் குறைந்தால் இடைவெளி அதிகமாகும்படியும் உருளேகள் இயக்கப்படும். இவ்விதம் தடிமன் வேண்டியவாறு சீராக இருக்குமாறு கட்டுப்பாடு செய்யப்படுகிறது. இம்முறையில் கட்டுப்பாடு விரைவாக நடப்பதுமட்டுமன்றி தொடர்ச்சியாகவும் நடக்கிறது;

---

1. quality control 2. thickness



படம் 14-2. காகிதத் தடிமன் கட்டுப்பாடு

மனிதர் மேற்பார்வையின்றி நம்பகமாகவும் நிகழ்கிறது. இம்முறையில் தாள் சிறிதுகூடக் கறைபடுவதில்லை ; தாள் கிழிவதில்லை.

திரவ மட்டமானி[1]

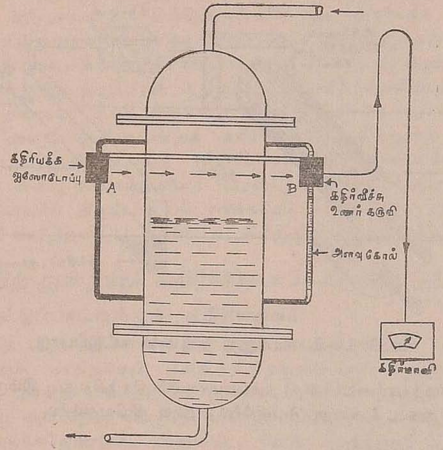
திரவங்களின் மட்டத்தை அறிய கதிர் ஐஸோடோப்பு பயன்படுகிறது. உபயோகப்படும் திரவம் மிகவும் அரிக்கும் தன்மையதாக இருந்தால், மட்டத்தை உணரும் கருவிகளைத் தொட்டிக்குள்ளே வைக்க முடியாது. ஆனால் கதிர் ஐஸோடோப்பின் உதவியினால் தொட்டிக்கு வெளியே இருந்தே திரவமட்டத்தை அறிந்து கட்டுப்பாடும் செய்யலாம்.

இவ்வேலைக்கு காமாக்கதிர்களை வெளியிடும் கோபால்ட்–60 (Co^{60}) என்ற ஐஸோடோப்பு பயன்படுகிறது. படம் 14-3-ஐப் பாருங்கள்.

தொட்டியின் எதிரெதிர்ப் புறங்களில் இரு சாதனங்கள் ஒரே உயரத்தில் நகர்கின்றன. *A*-இல் Co^{60} உள்ளது. *B*-இல் கதிர்வீச்சு உணர்வுகருவி உள்ளது. *A*யிலிருந்து வெளிப்படும் காமாக்கதிர்கள் *B*-யில் படிந்து கதிர்வீச்சு உணர்வுகருவியை இயக்குகின்றன. திரவ மட்டத்திற்குமேல் *AB*இருக்கும்போது காமாக்கதிர்கள் தடையின்றி *B*-ஐ அடைகின்றன. திரவமட்டம் உயர்ந்து *AB* மட்டத்திற்குமேல் ஆகும்போது காமாக்கதிர்கள் கிரகிக்கப்படுகின்றன. இது கதிர் மானியால் காட்டப்படும். *AB*யை மேலும் கீழும் நகர்த்தி எப்போது கதிர்மானி காமாக் கிரகிப்பைக் காட்டுகிறது என அறிந்து, சரியான உயரத்தைத் தெரிந்துகொள்ளலாம். இன்னும் சில சாதனங்களைச் சேர்த்து வேண்டியபடி திரவமட்டக் கட்டுப்பாடும் செய்யலாம்.

---

1. (liquid) level gauge



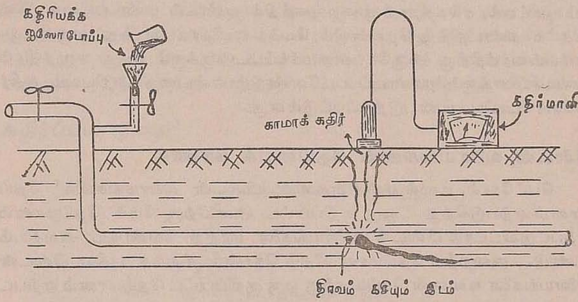
படம் 14-3. ஐஸோடோப்பு திரவமட்டமானி

நீண்டகுழாய்களில் கசிவைக் காணல்

பெட்ரோலிய எண்ணெய் பூமியில் புதைக்கப்பட்ட குழாய்கள் மூலம் பல நூறு மைல்கள் வரை அனுப்பப்படுகிறது என்பதை அறிவீர்கள். இக்குழாய்களில் கசிவு ஏற்பட்டால் என்ன செய்வது? பூமியைத் தோண்டிக் கண்டு பிடிப்பதா? பூமியைத் தோண்டுவதானால், எங்கு தோண்டுவது? மைல் கணக்கில் பூமியைத் தோண்டுவது லேசான காரியமா? இதற்கு ஆகும் செலவு என்ன? இந்தச் சிக்கலான பிரச்சினையை எளிதில் தீர்க்கிறது கதிர் ஐஸோடோப்பு. குழாய் பூமிக்கடியில் இருந்தாலும் சரி, கான்க்ரீட் தரைக்கு அடியில் இருந்தாலும் சரி, இம்முறையில் எளிதாகக் கசிவைக் காணலாம்.

படம் 14-4இல் காட்டியுள்ளது போல Co^{60}ஐத் திரவ ரூபத்தில் ஒரு புனல் வழியாகக் குழாய்க்குள் ஊற்ற வேண்டும். பெட்ரோலிய எண்ணெயுடன் சேர்ந்து Co^{60}ம் பயணம் செய்கிறது. கசியும் இடத்தில் எண்ணெயுடன் அதுவும் வெளியேறுகிறது. பின்னர், கோபால்ட் கலப்பில்லாத எண்ணெயைப் பாய்ச்சி குழாய்க்குள் இருக்கும் Co^{60} குழாயின் மறுபுறம் வழியாக வெளியேற்றப்படுகிறது. இப்போது குழாய்க்குள் எவ்விடத்திலும் Co^{60} கிடையாது. கசிந்த இடத்தில் மட்டும் குழாய்க்

கருகில் பூமியில் Co^{60} இருக்கும். ஒரு உணர்வு கருவியை குழாய் இருக்கும் பாதை வழியாக வேகமாக நகர்த்தி வந்தால் காமாக் கதிர்



படம் 14-4. ஐஸோடோப்பால் கசிவை அறிதல்

வெளியீடு உள்ள இடத்தைக் கருவியின் உதவியால் அறியலாம். இந்த இடமே கசிவுள்ள இடம் என அறியலாம். அவ்விடத்தில் தோண்டிக் கசிவை அடைத்து விடலாம்.

வண்டல் மண் படிவை ஆராய்தல்[1]

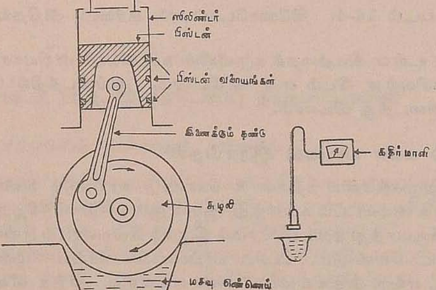
துறைமுகங்களில் நதிகளால் கொண்டு வரப்படும் வண்டல் மண் காரணமாக அடிமட்டம் உயர்ந்து ஆழம் குறைந்து விடுகிறது. கப்பல்கள் போக்குவரத்து தடைப்படாமல் இருக்க இவ்வண்டல் மண் தோண்டி எடுக்கப்பட வேண்டும். பெரிய பரப்பளவில் செய்ய வேண்டிய இவ் வேலைக்கு, எங்கு அதிக வண்டல் மண் படிகிறது. எந்த வீதத்தில் படிகிறது என்பன பற்றி அறிதல் 'அவசியம். இவ்விதமே கடலில் போக்குவரத்துக்காகக் கால்வாய் தோண்டும்போது வண்டல் அதிகம் படியாத இடமாகத் தேர்ந்தெடுக்கவேண்டும். இந்த வேலையை நம்பகமாகவும், எளிதாகவும் செய்ய உதவுகிறது கதிர்ஐஸோடோப்பு. சக்திமிக்க காமாக் கதிர்களை வெளிவிடும் ஸ்காண்டியம்-46[2] என்னும் கதிர் ஐஸோடோப்பு இவ்வேலைக்குப் பயன்படுகின்றது. ஸ்காண்டியம் 46-ஐ மணல் போன்ற நுண்ணிய தூளாக எடுத்துக்கொண்டு நீருக்கடியிலுள்ள மணலுடன் கலந்து விடுவர். இது நீரில் கரையாதது ஆகையால், ஸ்காண்டியமும் நீரோட்டத்துடன் செல்லும் வண்டல் மண்

1. siltation studies 2. scandium-46

னுடன் சேர்ந்து பயணம் செய்து வண்டல் படியும் இடத்தில் தானும் படியும். உணர்வு கருவிகள் மூலம் ஸ்காண்டியம்-46 படிந்த இடங்கள் படிந்த அளவு இவற்றைக் கண்டு வண்டல் மண் படிவை ஆராயலாம். நம் நாட்டில், கல்கத்தாத் துறைமுகத்தில் வண்டல் மண் படிவை இவ் விதமே கண்டறிந்து தோண்டும் வேலை எளிதாக நடந்து வருகிறது. ராமேஸ்வரத்திற்கு அருகே அமைக்கப்படவிருக்கும் சேது சமுத்திரம் கால்வாய் எங்கு தோண்டப் படவேண்டும் என்பதை அறியவும் கதிர் ஐஸோடோப்பு பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளது.

பிஸ்டன் வளையங்களின் தேய்வைக் காணல்

பெட்ரோல், டீஸல் எஞ்சின்களின் பிஸ்டன் வளையங்களில்[1] தேய் மானம் ஏற்படுகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட அளவிற்கு மேல் தேய்மானம் ஏற்பட்டுவிட்டால் பிஸ்டன் வளையங்களை மாற்ற வேண்டிய அவசியம் உண்டு. குறைந்த தேய்மான வீதம் கொண்ட சிறந்த புதிய பிஸ்டன் வளையங்களை டிஸைன் செய்வதற்கு ஒரு குறிப்பிட்ட தேய்மானம் ஏற்பட



படம் 14-5.

ஐஸோடோப்பால் பிஸ்டன் வளையங்களின் தேய்வை அறிதல்

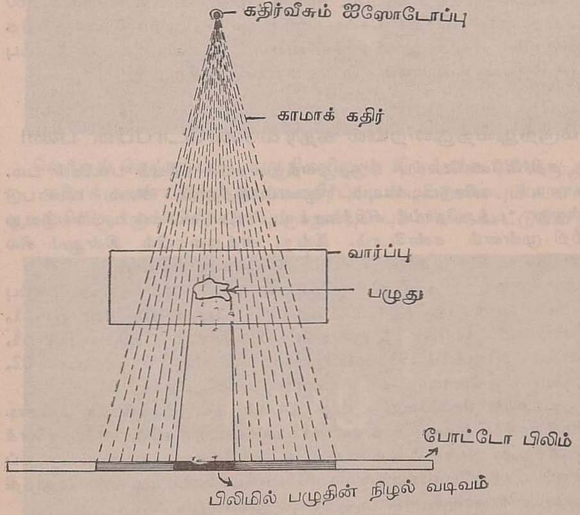
ஆகும் காலத்தை அறிய வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது. இதை எப்படி அறிவது? ஸிலிண்டரின் பாகங்களைக் 'கழற்றிப் பார்க்கும்முறை சிரமமானது. இதோ! அதற்கு எளிய கதிரூட்டல் முறை இருக்கிறது. முதலில் பிஸ்டன் வளையங்களை அணுஉலையில் இட்டு நியூட்ரான் கதிரூட்ட வேண்டும். கதிர் வீசும் அந்த வளையங்களைப் பிஸ்டனில்

---

1. piston rings

பொருத்தி எஞ்சினை இயக்குவோம். பல மாதங்கள் ஓட்டும். சிறிது சிறிதாக வளையங்கள் தேய ஆரம்பிக்கின்றன. தேய்ந்த உலோகத் தூள் மசவு எண்ணெயில்[1] சேர்ந்து கீழ்த்தொட்டியில் விழுகிறது. உணர்கருவியைக் கொண்டு மசவு எண்ணெயைச் சோதித்தால், பிஸ்டன் வளையங்களின் தேய்வை அறியலாம். கதிர்வீச்சு அதிகமாகத் தெரிந்தால் பிஸ்டன் வளையங்கள் அதிகம் தேய்ந்து விட்டன என்று பொருள். இதிலிருந்து மேற்கூறிய தேய்மான காலத்தை அறியலாம்.

கதிர்ப்பட முறை[2]



படம் 14-6. ஐஸோடோப்பால் வார்ப்பில் உள்ள பழுதை அறிதல்

எலும்பு முறிவைக் காணவும், நுரையீரல்களில் பழுதைக் காணவும், எக்ஸ்-கதிர் படம் எடுக்கிறோம் அல்லவா? அது போலவே வார்த்தெடுத்த இரும்புச்சாமான்களின் உட்பழுதுகளைக் காண, காமாக் கதிர்கள் பயன்படுகின்றன.

---

1. lubricating oil 2. radiography

வார்த்தெடுத்த ஒரு பெரிய இரும்பு உருளையின் உட்பழுதுகளை நாம் கண்ணால் காண முடியாது. ஆனால் சக்திமிக்க காமாக்கதிர்கள் உருளையை ஊடுருவிச் சென்று பழுதுகளைக் காண உதவுகின்றன.

படம் 14-6ஐப் பாருங்கள். வார்ப்பின் முன் கோபால்ட்-60 வைக்கப்பட்டுள்ளது. வார்ப்பின் பின் போட்டோ ஃபிலிம் வைக்கப்பட்டுள்ளது. கோபால்ட்-60லிருந்து காமாக் கதிர்கள் வார்ப்பை ஊடுருவிச் செல்லும். சிறு புரைகள் போன்ற பழுதுகள் உள்ள இடங்களில் காமாக்கதிர்கள் குறைவாகவே கிரகிக்கப்படுவதால், காமாக்கதிர்கள் அவற்றினூடே மிகுதியாகச் சென்று ஃபிலிமில் படியும். ஃபிலிமைக் கழுவிய பின்னர் புரைகள் கருமை மிகுந்த இடங்களாகத் தெரியும்.

இம்முறைக்குக் கதிர்ப்பட முறை என்று பெயர். கோபால்ட்-60 சாதனத்தை*த் தூக்கிச் செல்வது எளிது. தொழிற்சாலையின் எந்த மூலைக்கும் எளிதாக தூக்கிச் செல்லலாம். செலவும் குறைவு. இரும்பு எஃகு ஆலைகளில் இம்முறை பெரிதும் பயன்படுகிறது.

மருத்துவத்துறையில் கதிர்ஐஸோடோப்பின் பணி

கதிர்ஐஸோடோப்பு மருத்துவத்துறையில் புரியும் பணிகள் பல. நோயைக் கண்டுபிடிக்கவும், குணப்படுத்தவும் அவை பயன்படுகின்றன. புற்றுநோய்ச் சிகிச்சைக்கு ரேடிய ஊசிகள் பயன்படுவது பற்றி முன்னம் கண்டோம். இங்கு, அத்துறையில் இன்னும் சில கதிர் ஐஸோடோப்புகளின் உபயோகங்களைக் காண்போம்.

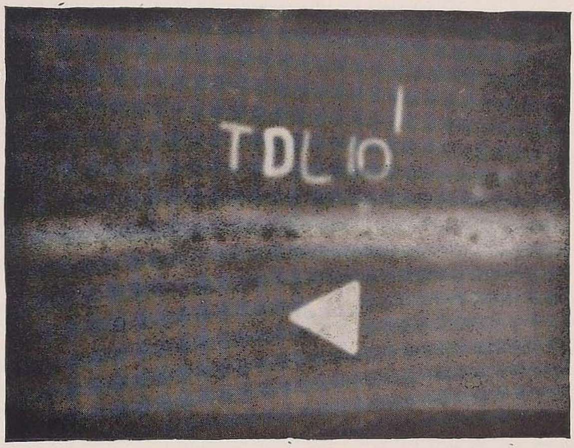
மருத்துவத் துறையில் பெரிதும் பயன்படும் ஐஸோடோப்புகளாவன : ஆர்ஸனிக்-74, பிஸ்மத்-206, போரான்-10, போரான்-11, புரோமின்-82, கார்பன்-14, குரோமியம்-51, கோபால்ட்-60, தாமிரம்-64, ஸீஷியம்-137, தங்கம்-198, அயோடின்-131, இரும்பு-55, பாஸ்ஃபரஸ்-32, ரேடியம்-226, ஸோடியம்-24, ஸ்ட்ரான்ஷியம்-90, கந்தகம்-35.

உடலின் வெவ்வேறு உள்ளுறுப்புகள் சில மூலகங்களை விசேஷமாகக் கிரகிக்கின்றன. உதாரணமாக தைராய்டு சுரப்பி[1] அயோடினைக் கிரகிக்கிறது. பாஸ்ஃபரஸ் எலும்பில் சேர்கிறது. பழுதுபட்ட உறுப்புக்குப் பிரத்தியேகமான மூலக ஐஸோடோப்பை உடலில் செலுத்தி நோயைக் காணவும், குணப்படுத்தவும் முயலலாம்.

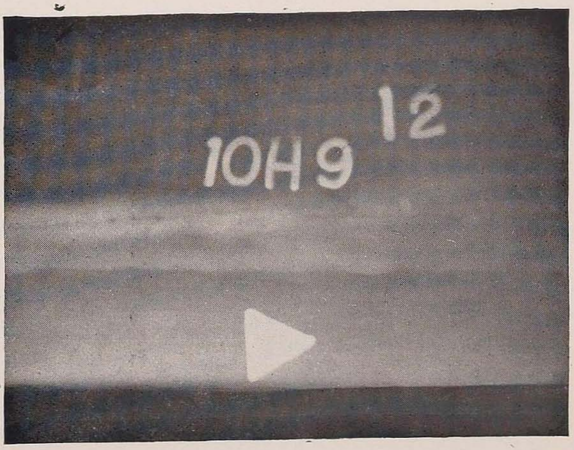
---

* இத்தகைய சாதனங்கள் "கதிர்ப்பட காமிராக்கள்" (radiographic cameras) எனப்படுகின்றன. தேவைக்குத் தக்கவாறு கோபால்ட்-60, இரிடியம்-192 போன்ற கதிர் ஐஸோடோப்புகளைக் கொண்டு இவற்றை அமைக்கலாம். கதிர்ப்படம் எடுக்க விழையும்போது திறக்கவும், பிறநேரங்களில் கதிர்வீச்சைத் தடுக்குமாறு மூடவும் கூடிய வசதியும், பாதுகாப்பும் கொண்ட இக்காமிராக்களை சேதமில் சோதனையின் ஜாம்பவான்கள் எனலாம்.

1. thyroid gland

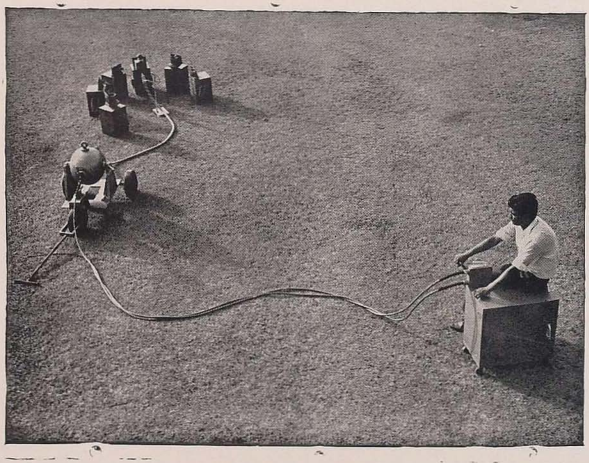


வெல்டிங் செய்யப்பட்ட பகுதிகளினுள் இருக்கக்கூடிய பழுது
களைக் காண்பிக்கும் காமா கதிர்ப்படம் புரைகளையும் உள்
ளடங்கியிருக்கும் பிசிர்களையும் கறுப்புப் புள்ளிகள் காட்டுகின்றன



வெல்டிங் செய்யப்பட்ட பகுதியின் காமா கதிர்ப்படம் முழுமை
யாக வெல்டு ஆகாத இடத்தை மெல்லிய கறுப்புக்கோடு காட்டுகிறது

மருத்துவத்துறையில் பயன்படும் கதிர்
ஐஸோடோப்புகள் தயாரிப்பு



கதிர்ப்பட காமிரா

ரத்த ஓட்டம்

உடலில் ரத்த ஓட்டத்தை ஆராய, டிரேஸர் முறையில் கதிர் ஐஸோடோப்பைப் பயன்படுத்தலாம். இதற்கு ஸோடியம்-24 பயன்படுகிறது. உடலின் ஒரு பாகத்திலிருந்து மற்ருேரிடத்திற்கு ரத்தம் செல்ல எவ்வளவு நேரம் ஆகிறது, ரத்த ஓட்டம் எங்கு தடைப்படுகிறது என்பனவற்றை ஸோடியம்-24 டிரேஸரால் கண்டறிந்து கொள்ளலாம். இரும்பு-59 ஐஸோடோப்பைப் பயன்படுத்தி ரத்தத்தின் சிவப்பணுக்கள் வளர்ச்சி பெறும் விதம், இரும்புச்சத்து ரத்தத்தில் கலக்கும் பாங்கு, வீதம் முதலியவற்றை ஆராயலாம். குரோமியம்–51 ஐஸோடோப்பைப் பயன்படுத்தி உடலிலுள்ள ரத்தத்தின் மொத்த அளவையும், பிளாஸ்மாவின் அளவையும், சிகப்பணுக்களின் வாழ்நாளையும் கண்டு பிடிக்கலாம். பாஸ்ஃபரஸ்–32 ரத்தத்தின் சிகப்பணுப் புற்றுநோய் வகைகளைக் குணமாக்கப் பெரிதும் பயன்படுகிறது.

மூளைக்கழலை[1]

பயங்கரமான மூளைக்கழலைகளைக் கண்டறியவும், குணப்படுத்தவும் பாஸ்ஃபரஸ்-32, அயோடின்-131 அல்லது ஆர்ஸனிக்-74 பயன்படுகிறது. இவ்வைஸோட்டாப்புகளில் ஏதாவது ஒன்றை உடலில் செலுத்திஞல், அது மூளையை அடைந்து கழலையில் தங்கும். திசை உணரும் ஓர் உணர்கருவிமூலம் கழலையிலிருந்து வெளிப்படும் கதிர்வீச்சை ஆராய்ந்து, கழலையின் இருப்பிடம், அதன் அளவு இவற்றை அறியலாம். பிறகு, ரண சிகிச்சை மூலம் குணப்படுத்த முயலலாம்.

தைராய்டு சுரப்பி

தைராய்டு சுரப்பியின் பழுதைக்காண அயோடின்-131 என்ற கதிர் ஐஸோடோப்பு பயன்படுகிறது. தைராய்டு சுரப்பி கழுத்துக்கருகில் உள்ளது. தைராய்டு சுரப்பி மந்தமாக வேலை செய்தால் மனிதனும் களைப்புற்றுச் செயலற்று இருப்பான். ஞாபகமறதி கொண்டிருப்பான். தைராய்டு சுரப்பி தீவிரமாக வேலை செய்தால் மனிதனை வியர்த்து விறுவிறுக்கச் செய்து பலஹீனத்தையும் நரம்புத் தளர்ச்சியையும் உண்டாக்கும். தைராய்டு சுரப்பி சரியாக வேலை செய்கிறதா என அறிய அயோடின் -131ஐ நீரில் கரைத்து நோயாளிக்குக் கொடுக்கப்படும். தைராய்டு சுரப்பி செவ்வனே வேலை செய்தால் சுமார் 24 மணி நேரத்தில் கொடுக்கப்பட்ட டோஸில் கால் பகுதி தைராய்டைச் சேர்ந்துவிடும். மந்தமாக வேலை செய்தால், 48 மணி நேரத்தில் 10 சதவிகித டோஸ்தான் சுரப்பியை அடைகிறது. சுரப்பி தீவிரமாக வேலை செய்வதாஞல் 5–6 மணி நேரத்திற்குள்ளேயே கொடுக்கப்

1. brain tumour

பட்ட டோஸின் பெரும்பகுதி சுரப்பியைப் போய்ச் சேர்ந்து விடுகிறது. நோயாளிக்கு அயோடினைக் கொடுத்தபின் இரண்டு மணிக்கு ஒருதரம் தைராய்டு சுரப்பியிலிருந்து வரும் கதிர் வீச்சை அளப்பதன் மூலம் ஒன்றிரு நாட்களுக்குள் பழுது எத்தகையது எனக் கண்டுபிடித்துச் சிகிச்சை செய்ய முடியும்.

தைராய்டு சுரப்பி சில சமயம் புற்றுநோய் வசப்படும். அயோடின்-131 உதவிகொண்டு புற்றுநோய்ப்பட்ட இடத்தை உணர்ந்தறியலாம். ரணசிகிச்சை மூலம் அதைக் குணப்படுத்தி விடலாம்.

வேளாண்மையில் கதிர் ஐஸோடோப்புகளின் வேலை

விதைகளுக்கு காமாக்கதிர் ஊட்டிப் பிறழ்ச்சிகள் நிகழச் செய்து அவற்றிலிருந்து கிடைக்கும் பயன்தரு பிறழிகளைக்[1] கொண்டு புதிய சிறந்த பயிர் வகைகள் தோற்றுவிப்பது பற்றியும், கதிரூட்டல் மூலம் காய்கறி, பழங்கள் முதலியவற்றை நீண்டகாலம் கெடாமல் பாது காக்கும் முறை பற்றியும் அணுக்கதிர்-உயிரியல் அத்தியாயத்தில் கண்டுள்ளோம். இங்கு, கதிர்வீச்சின் இன்னும் சில பணிகளைப் பற்றி பார்ப்போம்.

பயிரினங்கள் சத்துப் பொருள்களை பூமியிலிருந்து எவ்விதம் உறிஞ்சுகின்றன, உரப் பொருள்கள் எவ்விதம் தாவரங்களைச் சேர்கின்றன, ஒளிச்சேர்க்கை எப்படி நிகழ்கிறது, மண்ணின் தன்மை யாது, அதன் அடர்த்தி, ஈரக் கசிவு ஆகியவற்றைச் சோதித்தல் எப்படி, என்பன போன்ற பல பிரச்சினைகளில் பெரிதும் உதவுகின்றன கதிர்ஐஸோடோப்புகள்.

பூமியில் எவ்வளவு ஆழத்தில் உரமிட வேண்டும்? பயிரினங்களின் வேர்களுக்கு எவ்வளவு தூரத்தில் உரமிடவேண்டும்? பயிர் வளர்ச்சியின் எந்த கட்டத்தில் எவ்வளவு உரம் இட்டால் அதிகபக்ஷ பலன் கிடைக்கும்? இத்தகைய பிரச்சினைகளை ஆராய பாஸ்ஃபரஸ்–32 பயன் படுகிறது. பாஸ்ஃபேட் உரத்துக்குக் கதிரூட்டி பாஸ்ஃபரஸ்–32 கொண்ட உரத்தை உண்டாக்கலாம். இக் கதிர்வீசும் உரத்தைப் பயிரிடும்போது பல ஆழங்களில் தூவி மேற்கண்ட ஆய்வுகள் செய்யப்படுகின்றன. சில தினங்களுக்குள் வேர்கள் உரத்தை உறிஞ்சிச் செடியுள் பல பாகங்களுக்கு அனுப்புகின்றன. பாஸ்ஃபரஸின் கதிர்வீச்சை உணரும் கருவிகள் மூலம் சோதித்து உரம் உறிஞ்சப்படும் முறையை அறியலாம்.

உரத்தைத் திரவமாக்கிச் செடி மீது தெளித்து உரம் எவ்வளவு உறிஞ்சப்படுகிறது என அறியலாம். இப்படிப் பார்த்ததில், பயிர்கள் 95 சதவிகித திரவ உரத்தைத் தமது இலைகள், தண்டுகள், பூக்கள் மூலம் உறிஞ்சுவது தெரிய வந்தது.

---

1. mutants

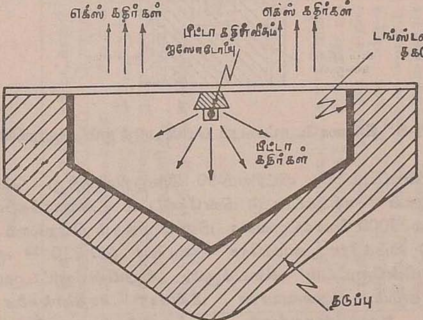
மண்ணின் தரத்தையும், ஈரக்கசிவையும் எளிதாகவும் விரைவாகவும் சோதித்தறிய ஸீஷியம்–137 என்ற கதிர்ஐஸோடோப்பு பயன்படுகிறது. ஸீஷியம்–137 வெளிவிடும் காமாக் கதிர்கள் மண்ணை ஊடுருவும்போது ஏற்படும் கிரகிப்பை அளந்து, மண்ணின் தரத்தை அறியலாம். மேலும் இதே சோதனையை வேக நியூட்ரான்களைக் கொண்டு செய்து மண்ணின் ஈரக் கசிவைக் காணலாம்.

பயிர்களுக்கு வரும் வியாதிகளை ஆராயவும், 'பூச்சி கொல்லி மருந்துகள்'[1] வேலை செய்யும் விதத்தை ஆராயவும், கால்நடைகளின் தீவன ஆராய்ச்சியிலும் இன்னும் பற்பல ஆய்வுகளுக்கும் கதிர் ஐஸோடோப்புகள் பயன்படுகின்றன.

மின்சக்தியின்றி எக்ஸ் கதிர்

எக்ஸ் கதிர்களை உண்டாக்கப் பல்லாயிரக்கணக்கான வோல்ட் மின்னழுத்தம் தேவை. மின்சக்தி இல்லாத இடங்களில் எக்ஸ்–கதிர் தேவைப்பட்டால் என்ன செய்வது? இதற்கும் உதவி செய்கிறது கதிர் ஐஸோடோப்பு.

எக்ஸ் கதிர்கள் எப்படி உண்டாகின்றன? சக்தி மிக்க எலக்ட்ரான்கள் டங்ஸ்டன்[2] போன்ற உலோகத்தைத் தாக்கும்போது எக்ஸ் கதிர்கள் உண்டாகின்றன. சாதாரணமாக எலக்ட்ரான்கள் பல



படம் 14-7. ஐஸோடோப்பால் எக்ஸ் கதிர்களை உண்டாக்குதல்

ஆயிரக்கணக்கான வோல்ட் மின்னழுத்தம் காரணமாகச் சக்தி பெறுகின்றன. இத்தகைய சக்தி மிக்க எலக்ட்ரான்களைக் கதிர் ஐஸோடோப்பிலிருந்து பெறலாம். ஸ்ட்ரான்ஷியம்–90 பீட்டாத்துகள்

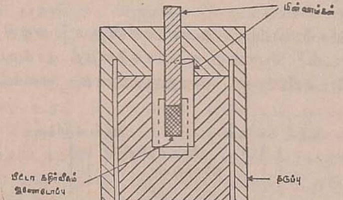
---

1. insecticide 2. tungsten

களை (எலக்ட்ரான்களை) வெளியிடுகிறது. படம் 14-7இல் காட்டப்பட்டுள்ளதுபோல ஸ்ட்ரான்ஷியம்-90ஐ ஒரு ஈயக் கலத்துக்குள் வைத்து, அதிலிருந்து எழும் கதிர்கள் தாக்குமாறு ஒரு டங்ஸ்டன் தகட்டைப் பொருத்தினால் எக்ஸ் கதிர் சாதனம் தயார். 400,000 எலக்ட்ரான் வோல்ட் சக்தி கொண்ட எக்ஸ் கதிர்களை இம் முறையில் பெறலாம். (ஆனால், வெளிப்படும் எக்ஸ் கதிர்களின் அளவு குறைவாகவே இருக்கும்.)

அணுமின்கலன்கள்[1]

பல்லாயிரக்கணக்கான மைல்கள் பயணம்செய்யும் விண்வெளிக் கப்பல்களில் கருவிகளை இயக்க அணுமின்கலங்கள் பயன்படுகின்றன. இதன் அமைப்பைப் படம் 14-8இல் பாருங்கள்.



படம் 14-8. ஐஸோடோப்பைப் பயன்படுத்தும் அணுமின்கலம்

ஸ்ட்ரான்ஷியம்-90, யிட்ரியம்-90 இவற்றிலிருந்து வெளிப்படும் எலக்ட்ரான்கள் சேகரிக்கப்பட்டு மின்னோட்டம் உண்டாக்கப்படுகிறது. இக்கலத்தில் 7000 வோல்ட் வரை மின்னழுத்தம் பெறலாம். ஆனால் சுமார் 40 மைக்ரோ மைக்ரோ ஆம்பியர் (40×10^{-12} ஆம்பியர்)[2] அளவே மின்னோட்டம் கிடைக்கும். சிறுமின்னோட்டமும் பெருமின்னழுத்தமும் தேவையான மின்சார சாதனங்களை இயக்க இத்தகைய அணுமின்கலங்கள் பயன்படுத்தப்படலாம். ஸ்ட்ரான்ஷியம்-90இன் அரை ஆயுட்காலம் 25 ஆண்டுகள். எனவே, மின்கலத்தின் ஆயுளும் பல வருடங்கள். மேலும் இதன் அளவு சிறியது; சுமார் இரண்டு அங்குலமே உயரம் கொண்டது. எளிய அமைப்பும், குறைந்த கனமும் கொண்டது; எத்தகைய நெருக்கடியிலும் நிற்காமல் ஓடக்கூடியது.

---

1. nuclear batteries 2. ampere

அட்டவணை 14-3.

கதிர்வீச்சின் பயன்கள்

முறையின் பெயர்	பயன்படும் முறை	பெரும்பாலும் பயன் படும் ஐஸோடோப்புகள்	பயனுக்குச் சில உதாரணங்கள்
1. கால அளவீட்டு முறை	மிக அதிக அரை ஆயுட்காலம் கொண்ட கதிரியக்கப் பொருள் களின் தற்போதைய அளவை அறிந்து, முன்பு இருந்திருக்க வேண்டிய அளவை தக்க முறை களில் அனுமானித்து, இடையில் கழிந்த காலத்தைக் கணக்கிடுதல்	1. இயற்கை யுரேனியம் 2. ருபிடியம் 3. கார்பன்-14 4. ட்ரிடியம்	1. பூமியின் வயது 2. கற்பாறைகள் தோன்றிய காலம் 3. ஃபாஸில்[1] என்னும் உயிர்பொருள் எச்சங்களின் வயது 4. தொல் பொருள்களின் தொன்மை 5. பனிப் பாறைகள் தோன்றிய காலம் 6. பாதாள நீர்த்தேக்கங்களின் வயது.
2. டிரேஸர் முறை	எந்த இயல்பை ஆராயவேண்டுமோ, அதற்கேற்ற ஐஸோடோப்பைத் தேர்ந்தெடுத்து மிகச் சிறிய அளவில் கலந்துவிடுதல். பிறகு இக்கதிர் ஐஸோடோப்பின் சலனம், அதன் அளவு ஆகியவற்றைக் கொண்டு இயல்பை அறிதல்	1. கோபால்ட்-60, 2. ஸ்காண்டியம்-46. 3. ஸோடியம்-24, 4. இரும்பு 55, 5. பாஸ்ஃபரஸ்-32, 6. அயோடின்-131 முதலிய பல	1. ரத்த ஓட்டத்தின் இயல்பு 2. மூளைக் கழலையின் அமைவிடம் 3. தைராய்டு கோளாறுகளைக் கண்டுபிடித்தல் 4. உரப்பொருள் தாவரங்களால் கிரகிக்கப்படும் முறை முதலிய பல

1. fossil

கதிர்வீச்சின் பயன்கள் (தொடர்ச்சி)

முறையின் பெயர்	பயன்படும் முறை	பெரும்பாலும் பயன் படும் ஐஸோடோப்புகள்	பயனுக்குச் சில உதாரணங்கள்
3. கதிர்வீச்சு முறை	கதிரியக்க ஐஸோடோப்புகளின் கதிர்வீச்சின் தன்மைகளையும், அஃவற்றின் விளைவுகளையும் பயன் படுத்திப் (பலதுறைகளில்) அனுகூலங்களைப் பெறுதல்	1. நிக்கல்-63, 2. கோபால்ட்-60, 3. இரிடியம்-192, 4. ஸீஷியம்-137, 5. நியூட்ரானைப் பிறப்பிக்கும் சாதனம் முதலிய பல	1. காகித தரக்கட்டுப்பாடு 2. திரவமட்டம் சீராதல் 3. கதிர்ப்பட ஆய்வு 4. மண்ணின் தன்மை, ஈரம் இவற்றை அறிதல் 5. புற்றுநோய் சிகிச்சை முதலியன
4. கதிர்த்தூண்டிப் பருக்கும் முறை	எந்தப் பொருளைப் பற்றிய செய்திகள் தேவையோ, அந்தப் பொருளுக்குக் கதிரூட்டி, விளையும் கதிரியக்கப் பொருள்களிலிருந்து அனுமானித்தல்	—	1. தொல் பொருள்களின் அமைப்பு 2. பிஸ்டன் வளையங்களின் தேய்மானம் 3. குற்றம் புரிந்தோரின் தடய ஆராய்ச்சி முதலியன
5. கதிர்வீச்சால் பிறழிகளை உண்டாக்கல்	கதிர்வீச்சுக்குட்படுத்தப்பட்ட விதை, பயிர் முதலியவற்றிலிருந்து அனுகூலமான பிறழிகளைப் பிரித்தெடுத்துப் பயன்படுத்தல்.	1. கோபால்ட்-60 போன்றவை 2. எக்ஸ் கதிர்	விவசாயத் துறையில் சிறந்த வகை விதைகள், பயிர்கள்.
6. பிற	—	—	1. எக்ஸ்-கதிர் பிறப்பித்தல் 2. அணுமின்கலங்கள் அமைத்தல் 3. உணவுப்பொருள் பாதுகாப்பு 4. கிருமிநீக்கம் முதலியன

அட்டவணை 14-4.

கதிர்ஐஸோடோப்புகளின் பயன்கள்

தொழில் துறை

1. விளைபொருள் தரக் கட்டுப்பாடு
2. சேதமில் சோதனை முறை கதிர்ப்பட ஆய்வு, கதிர்ப்பட காமிராக்கள்
3. கதிரூட்டலால் சிறந்த டிஸைன் முறைகளை அறிதல்
4. குழாய்க்கசிவு முதலியவற்றில் டிரேஸர் முறை
5. எண்ணெய்க் கிணறுகளைக் கண்டுபிடித்தல்
6. புவி பௌதிகத் துறை முதலிய பல

மருத்துவத் துறை

நோயைக் கண்டறிதல்

1. புற்றுநோய் இருப்பு
2. தைராய்டின் கோளாறுகள்
3. ரத்த ஓட்டக் கோளாறுகள்
4. கழலைகளின் இருப்பிடம் முதலியன

நோய்க்குச் சிகிச்சை

1. புற்றுநோய் தணிப்பு
2. கழலைகளை 'எரித்தல்'
3. தைராய்டைக் 'கதிருவை' செய்தல் முதலியன

விவசாய, உயிரியல் துறைகள்

விளைச்சலுக்கு வழி

1. நல்ல பயிர் வகை, விதை வகைகளை உண்டாக்குதல்
2. மண்ணின் தரம், உரத்தின் பயன் இவற்றை அறிதல் முதலியன

விளைந்ததைக் காத்தல்

1. கதிர்வீச்சால் உணவு, தானிய வகைகள் பலநாள் கெடாதவாறு செய்தல்
2. கிருமி நீக்கம் செய்தல் முதலியன

பிறதுறைகள்

1. தொல்பொருள் ஆராய்ச்சி
2. விஞ்ஞான ஆராய்ச்சி
3. சட்டஞ் சார்ந்த குற்றவியலில்,* குற்றத்தின் தடயங்காணல்
4. விண்வெளி ஆராய்ச்சியில் அணுமின்கலங்கள் முதலியன

* forensic science

கதிர்ஐஸோடோப்புகளின் எதிர்காலம்

கதிர்ஐஸோடோப்புகளின் பயன்கள் பெருகிப் பரந்துள்ளன. தொழிலியல், விஞ்ஞான ஆராய்ச்சி, மருத்துவம், உயிரியல், பயிரியல், கால்நடை ஆராய்ச்சி போன்ற பற்பல துறைகளில் கதிர்ஐஸோடோப்பு அருந்தொண்டு புரிகிறது. அது பயன்படும் துறைகள் பெருகிக் கொண்டே போகின்றன. அணுகுண்டை மக்கள் யாவரும் அறிவர். ஏனெனில், அதன் அழிவுவேலை பேரளவானது. ஆனால், ஆரவார மின்றிக் கதிர்ஐஸோடோப்புகள் புரியும் பணி ஆலமரம் போல் பெருகிப் பரந்துள்ளது. இன்னும் பரவக் காத்திருக்கிறது. அவற்றின் பணி களில் சிலவற்றை அட்டவணை 14-3, 14-4இல் காண்க. கதிரியக்க ஐஸோடோப்புகளின் பயன்களை மக்கள் தங்கள் தினசரி வாழ்க்கையில் நேரடியாக உணரத் தொடங்கும் காலம் வெகு தூரத்தில் இல்லை.

REFERENCES

1. C. L. PUTNAM: "*Isotopes*" Pelican Books, Harmondsworth, Middlesex.

2. W. F. LIBBY: "*Radiocarbon Dating*" University of Chicago Press, Chicago.

3. V. MEZNETSEV: "*In the World of Isotopes*" Foreign Languages Publishing House, Moscow.

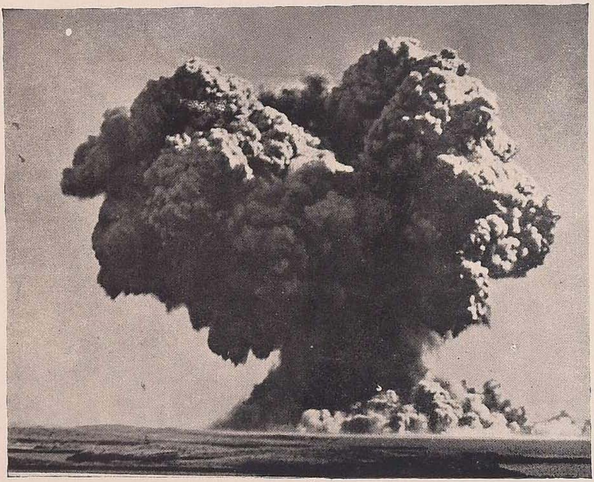
4. G. HEVESY: "*Radioactive Indicators*" — Interscience, New York.

5. W. E. SIRI: "*Isotopic Tracers and Nuclear Radiations*" McGraw Hill, New York.

6. J. KOHL, F. ZENTNER and P. LUKENS: "*Radio-isotope Applictions Engineering*" Van Nostrand, Princeton, New Jersey.

7. J. SACKS: "*The Atom at Work*" McGraw Hill, New York.

8. W. A. BLAHD, F. K. BAUER AND B. CASSEN: "*The Practice of Nuclear Medicine*" Charles C. Thomas, Springfield, Illinois.



அணுகுண்டு வெடிப்புச் சோதனை

15. அணு ஆயுதங்களும் அவற்றின் விளைவுகளும்

[சு. ராமன்]

ஜூலை 16, 1945, அமெரிக்க ஐக்கிய நாடுகளின் நியு மெக்ஸிகோ மாகாணத்தில்[1] அலமொகார்டோ[2] பகுதியில் காலை 5-30 மணி. சில விநாடிகளுக்கு சூரியோதயமே ஆறுற்போன்று ஒளி தோன்றி மறைகின்றது. அண்டகடாகங்களே இடிந்து விழுவது போன்ற ஓசை. உலகத்தின் முதல் அணுகுண்டு, அதனை உருவாக்கியவர்கள் எதிர்பார்த்ததற்கும் மேலாகவே தன் அழிவு சக்தியை நிரூபித்து மறைகின்றது. இவ்வெடிப்பைத் தொடர்ந்து (இரண்டாம் உலகப் போரின் கடைசி நாட்களில்) ஜப்பானில் ஆகஸ்டு 6–9இல் ஹிரோஷிமா[3], நாகஸாகி[4] நகரங்களின் மேல் நடத்தப்பட்ட அணுகுண்டு பிரயோகங்கள் அழிவின் தலைவாயிலில் உலகம் நிற்பதை மக்களுக்கு உணர்த்தின. அணு ஆயுதங்களில் மிகச்சிறியது எனக் கருதப்படும் அந்த அணுகுண்டு அன்று பல்லாயிரக்கணக்கில் உயிர்களைக் கொன்று குவித்தது. அதனைத் தொடர்ந்து அமெரிக்கா, ரஷ்யா, இங்கிலாந்து,

---

1. New Mexico
2. Alamogordo
3. Hiroshima
4. Nagasaki

பிரான்ஸ் மற்றும் செஞ்சீனு ஆகிய நாடுகள் மேலும் அதிக அழிவு உண்டாக்கக்கூடிய ஆயுதங்களைத் தயாரித்து, சோதனை செய்து வருகின்றன. இத்தகைய குண்டுகளின் விளைவுகளை இவ்வத்தியாயத்தில் விரிவாகக் காண்போம்.

வெடிப்பு

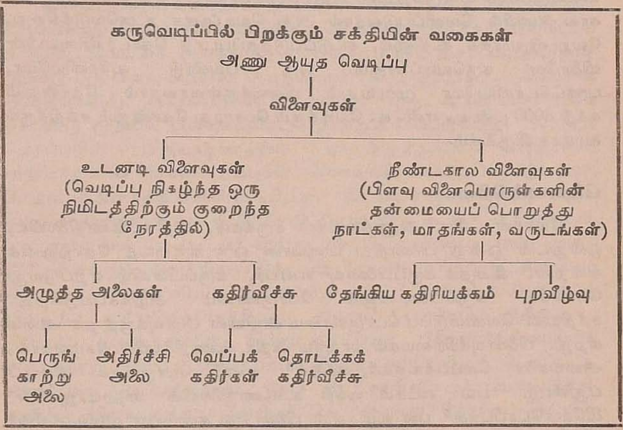
ஒரு சிறிய பரிமாணத்தினுள்ளிருந்து பேரளவினதான சக்தி, குறுகிய காலத்தில் வெகுவேகமாக வெளிப்படுவதால் ஏற்படும் நிகழ்ச்சியை வெடிப்பு[1] என்கிறோம். அணுவின் கருச்செய்கைகள்[2] இத்தகைய வெடிப்பிற்குக் காரணமாக இருப்பின், அதனை அணு வெடிப்பு[3] அல்லது கருவெடிப்பு[4] எனக் கூறுகிறோம். இத்தகைய வெடிப்பில் தோன்றும் வெப்பமானது, அணுகுண்டில் உள்ள எல்லாப் பொருள்களையும் அழுத்தம் மிக்கதும் சூடானதும் ஆன வாயுநிலைக்கு மாற்றி விடுகின்றது. அதிக அழுத்தத்திலும், உஷ்ண நிலையிலும் உள்ள இவ்வாயுக்கள் விரைவில் உப்புகின்றன. இதன் விளைவாக சுற்றுப் புறத்தில் (காற்றிலோ, நீரிலோ, தரையிலோ) அழுத்த அலை[5] ஒன்று பரவுகின்றது. காற்றில் இந்த அழுத்த அலை பரவும்பொழுது பலமான காற்றுவீச்சு தோன்றுவதால் இதனைப் பெருங்காற்று அலை[6] எனவும் நீரிலோ, தரையிலோ இதன் விளைவு திடீர் மோதலை ஒத்திருப்பதால் அப்பொழுது அதிர்ச்சிஅலை[7] எனவும் பொதுவாகக் குறிப்பிடுகின்றோம்.

விநாசத்தின் எல்லை எனக் கருதும் வண்ணம் பயங்கர ஆற்றல் பெற்றவை அணு ஆயுதங்கள். இவை, தம் அழிக்கும் ஆற்றலைப் பெரும்பாலும் வெடிப்பினின்றோ, அதிர்ச்சியினின்றோ பெறுகின்றன. அணு ஆயுதங்களின் சக்தி டி. என். டி[8] போன்ற வெடிமருந்துகளைப் பயன்படுத்தும் சாதாரண வெடிகுண்டுகளைவிட, பல ஆயிரம் மடங்குகளாகும். மற்றவகைக் குண்டுகளைப் போல் அன்றி, அணு வெடிப்பில் வெளிப்படும் சக்தியில் பெருமளவு ஒளியாகவும் வெப்பமாகவும் மாற்றப் படுகின்றது. பொதுவாக இதை வெப்பக் கதிர்வீச்சு[9] எனக் கூறுவர். இதைத் தவிர, கண்ணுக்குப் புலனாகாத தொடக்கக்கதிர்வீச்சு[10] தோன்றுகிறது. இதனைத் தொடர்ந்து, வெடிப்பு நிகழ்ந்த இடத்தில் உள்ள பெரும்பான்மையான பொருள்கள் கதிரியக்கத்தைப் பெற்று, நீண்ட காலத்திற்குக் கதிர்களை வெளிப்படுத்துகின்றன. இக்கதிர்வீச்சு தேங்கிய கதிர்வீச்சு[11] அல்லது தேங்கிய கதிரியக்கம்[12] என அழைக்கப்படுகிறது.

---

1. explosion 2. nuclear processes 3. atomic explosion
4. nuclear explosion 5. pressure wave 6. blast wave
7. shock wave 8. t. n. t. (trinitrotoluene)
9. heat radiation 10. initial nuclear radiation
11. residual radiation 12. residual radioactivity

அட்டவணை 15-1



(அடைப்புக் குறிகளுக்குள் விளைவுகள் நீடிக்கும் காலம் கொடுக்கப் பட்டுள்ளது.)

ரசாயன சக்தியும் கரு சக்தியும்[1]

அணுக்கருவுக்கும், அதைச் சுற்றியுள்ள எலக்ட்ரான்களுக்கும் இடையில் உள்ள பிணைப்பு விசையைத்[2] தகர்ப்பதால் தோன்றுவது ரசாயன சக்தியாகும். அணுக்கருவில் பொதிந்துள்ள துகள்களுக் கிடையே நிலவும் பிணைப்பு விசையைத் தகர்ப்பதால் தோன்றுவது கரு சக்தியாகும். ஒரு பொருளிலிருந்து பெறப்படும் கருசக்தியானது, அதே எடையுள்ள பொருளிலிருந்து பெறப்படும் ரசாயன சக்தியை விடப் பல லட்சம் மடங்கு அதிகமாக இருக்கும். சாதாரண குண்டுகளில், ரசாயனக் கிரியைகளின் மூலம் வெடிப்பு தோற்றுவிக்கப் படுகிறது. அணு ஆயுதங்களில் கருசக்தியைப் பயன்படுத்தி வெடிப்பு தோற்றுவிக்கப்படுகிறது.

பிளவுக்கிரியை[3]

தொடர் கிரியையில் பொருண்மை[4] அழிக்கப்படுவதற்குத்தக சக்தி வெளிப்படுகிறது என்பதை முன்பே கண்டோம். ஒரு வரம்பு

1. nuclear energy 2. binding force 3. fission 4. matter

மீறிய தொடர்கிரியையை ஏற்படுத்துவதால், வெளிப்படும் பிளவு சக்தி விசுவரூபமாக வளருகிறது. இந்த பிரும்மாண்ட சக்தி மிகக் குறைந்த கால அளவில் வெளிப்படுவதால் அது வெடிப்பாக உருவெடுக்கிறது. வேறு விதமாகக் கூறினல், கட்டுப்படுத்தப்படாத தொடர்கிரியையின் விளைவே கருவெடிப்பாகும். ஒரு பவுண்டு யுரேனியமோ, புளூட்டோனியமோ முழுவதும் பிளவுக்குள்ளாவதால் தோன்றும் சக்தி 8000 டன் டி. என். டி. வெடிக்கும் பொழுது தோன்றும் சக்திக்குச் சமமாக இருக்கும்.

பிணைவுக்கிரியை[1]

லேசான இரு அணுக்களின் கருக்கள், அதி உஷ்ண நிலையில், ஒன்றுடன் ஒன்று பிணைந்து பளுவான ஒரு கருவைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இதைக் கருப்பிணைவு[2] என்பர். கருப்பிளவில் ஏற்படுவது போலவே கருப்பிணைவிலும் பொருண்மை அழிக்கப்படுகிறது. சக்தியின் வெளிவிடுப்பு பொருண்மை அழிவின் அளவுக்குத் தக அமைகிறது. பிணைவுக்கிரியைகள் யாவுமே அதிஉஷ்ண நிலையில் நிகழ்வதால், அவைகளை வெப்பக்கருக்கிரியைகள்[3] எனப் பொதுவாக அழைப்பதுண்டு. பல லட்சம் டிகிரி உஷ்ண நிலையில் ஹைடிரஜனின்[4] ஐஸோடோப்புகள்[5] பல வழிகளில் பிணைந்து கனமான ஹீலியத்தின்[6] கருவை சக்தி வெளிப்பாட்டுடன் தோற்றுவிக்கின்றன.

(1) ஹைடிரஜன் + ட்ரிடியம்[7] → ஹீலியம் + காமாக்கதிர் + சக்தி

(2) டியூடிரியம்[8] + ட்ரிடியம் → ஹீலியம் + நியூட்ரான் + சக்தி

(3) ட்ரிடியம் + ட்ரிடியம் → ஹீலியம் + 2 நியூட்ரான்கள் + சக்தி

ஒரு பவுண்டு டியூடிரியம் கருக்கள் யாவும் பிணைவுக்கிரியைக் குள்ளானல் தோன்றும் சக்தி 26,000 டன் டி. என். டி. வெடிப்பதால் தோன்றும் சக்திக்குச் சமமாக இருக்கும்.

பி, பி-பி, பி-பி-பி ஆயுதங்கள்

பிளவுக்கிரியை, பிணைவுக்கிரியை ஆகியவற்றைப் பயன்படுத்தி இயங்கும் ஆயுதங்களை மூன்று வகைகளாகப் பிரிக்கலாம். முதலாவது வகை, பிளவு ஆயுதங்கள் (பி. ஆயுதம்) எனப்படுபவையாகும். இவை கருப்பிளவினல் மட்டுமே இயங்குபவை. சாதாரண அணுகுண்டு இவ்வகையைச் சார்ந்ததே. சாதாரண அணுகுண்டில் U-235 (அல்லது Pu-239) பிளவுபடுபொருளாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

---

1. fusion 2. nuclear fusion 3. thermonuclear reactions
4. hydrogen 5. isotopes 6. helium
7. tritium 8. deuterium

ஹைடிரஜன் குண்டு[1]

இரண்டாவது வகையானது பிளவு-பிணைவு (பி-பி) ஆயுதமாகும். கருப்பிளவு, பிணைவுக்கிரியைகளை ஒருங்கே தோற்றுவிக்கும் அமைப்புக்களுடன் இவ்வகை ஆயுதங்கள் தயாரிக்கப்படுகின்றன. ஹைடிரஜன் குண்டு ஒரு பிளவு-பிணைவு ஆயுதமாகும் (பி-பி ஆயுதம்)[2]. இவ்வகை ஆயுதங்களில், யுரேனியம்-235 (அல்லது புளுட்டோனியம்-239)ஐக் கொண்டு முதலில் பிளவுக்கிரியை தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. இதனால் பெறப்படும் மிகுஉஷ்ணநிலை, மிகுஅழுத்தநிலை காரணமாக ஹைடிரஜனின் ஐஸோடோப்புகள் பிணைவுக்கிரியையில் ஈடுபடுவதால், மேலும் அதிக சக்தி வெளிப்படுகிறது. இவ்வகை ஆயுதங்களின் அழிவு சக்தி சாதாரண அணுகுண்டுகளைவிடப் பல நூறு மடங்கு அதிகமாகும்.

நவீனகால மெகாடன்[3] ஆயுதங்கள் பிளவு-பிணைவு-பிளவு முறையில் இயங்கும் ஆயுதங்களாகும் (பி-பி-பி ஆயுதங்கள்)[4]. இவ்வகை ஆயுதங்களில் யுரேனியம்-235 (அல்லது புளுட்டோனியம்-239) முதலில் பிளவுக்கு உட்படுத்தப்படுகிறது. அதனால் பெறப்படும் அதிஉஷ்ண நிலையில் ஹைடிரஜனின் ஐஸோடோப்புகள் பிணைவுக்கிரியைகளில் ஈடுபடுமாறு செய்யப்படுகின்றன. இவ்விரு வழிகளிலும் பெறப்பட்ட அளப்பரிய வெப்பத்தையும், வேக நியூட்ரான்களையும் பயன்படுத்தி, எளிதில் பிளவுபடாத யுரேனியம்-238 (அல்லது தோரியம்-232)-இல் பிளவுக்கிரியை, தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. இத்தகைய ஆயுதங்கள் சாதாரண அணுகுண்டுகளைவிட பல ஆயிரம் மடங்கு அழிவு சக்தி வாய்ந்தவைகளாகும். பிளவு பிணைவு முறையில் வெடிக்கும் ஆயுதங்களைக் கரு ஆயுதங்கள் எனவும் அழைப்பதுண்டு. பி-பி ஆயுதங்களை கோபால்ட் உலோகத்தால் சுற்றி வைப்பதால் வெடிப்பு நிகழும்பொழுது நீண்ட அரை ஆயுட்காலம் கொண்ட கோபால்ட்-60 ஐஸோடோப்பு ஏராளமாக உண்டாகிறது. இது புறவீழ்வாக உலகெங்கும் பரவி, பல ஆண்டுகள் வரை மக்களைக் கதிர்வீச்சுத் தாக்குதலுக்கு உட்படுத்துகிறது. இவ்வகைக் குண்டை நரக குண்டு[5] என்று கூறுவர்.

தொடர்கிரியை தோன்றுவதற்குப் பிளவுபடு பொருளின் பொருள் திணிவு வரம்புநிலைத்திணிவுக்கு அதிகமாக இருக்கவேண்டும் என்பதை முன்பே கூறினோம். அணுஆயுதத்தில் உள்ள பிளவுபடுபொருளின் திணிவு வரம்புநிலைத்திணிவுக்கு மேற்பட்டு இருந்தால், சுற்றுப்புறத்தில் சஞ்சரித்துக் கொண்டிருக்கும் ஒரு தனித்த நியூட்ரான்கூட அதனை வெடிக்கச் செய்துவிடக் கூடும். எனவே ஆயுதத்தை எதிரியின் இடத்திற்குக் கொண்டு சென்று, அவ்விடத்தில் மட்டுமே பிளவுபடு பொருளை

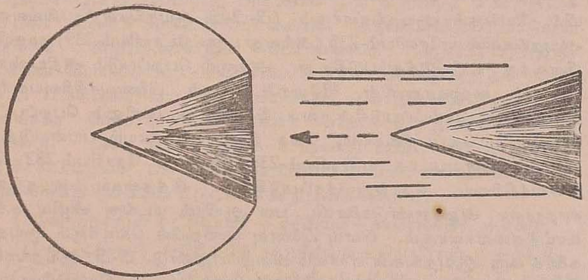
---

1. hydrogen bomb 2. fission-fusion weapon (F. F. weapon)
3. megaton. ஒரு மெகாடன் = 1,000,000 டன்
4. fission-fusion-fission (F. F. F.) weapons
5. hell bomb

வரம்புநிலைத்திணிவிற்கு மேற்படுமாறு வழிசெய்தல் வேண்டும். அதற்கு இருவழிகள் கையாளப்படுகின்றன.

துப்பாக்கி வகை[1]

இவ்வகையில் வரம்புநிலைத்திணிவுக்கு அதிகமான திணிவுகொண்ட பிளவுபடுபொருள் இருதுண்டங்களாகப் பிரிக்கப்பட்டு தனித்தனியே வைக்கப்படுகிறது. இதனால் வரம்புநிலைக்குக் குறைவாகிவிட்ட ஒரு துண்டம், மற்றொரு துண்டத்தினுடன் சேர்ந்தாலொழிய வரம்பு நிலையை மீறவே இயலாது. தேவையாகும்பொழுது, இவ்விரு துண்டங்களையும் திடீரென்று சேர்த்தால் மிகுவரம்புநிலைத்திணிவு உண்டாகி, தொடர்கிரியையும், அதைத் தொடர்ந்து வெடிப்பும் தோன்றுகின்றன.



படம் 15-1. அணுகுண்டில் தொடர்கிரியையைத் தொடக்கி வைத்தல் (துப்பாக்கி வகை)

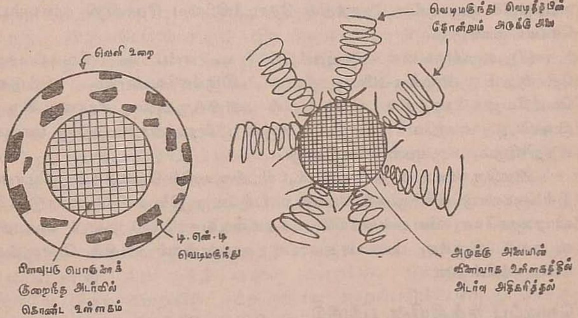
உதாரணமாக, பிளவுபடுபொருளின் '1' என்ற பெருந்துண்டம் ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் இடம் பெயராதவாறு பொருத்தப்படுகிறது. ஆனல் '2' என்ற மற்றொரு சிறு துண்டம் இடம் பெயரும் வசதியுடன் பொருத்தப்படுகிறது. குதிரையை[2] அழுத்தியவுடன் துப்பாக்கியிலிருந்து பாய்ந்து முன்னேறி, குறிப்பிட்ட இலக்கைத் தாக்கும் குண்டைப்போல் இரண்டாவது துண்டம் வெடிமருந்தின் உதவியால் முன்னே தள்ளப்பட்டு, முதல் துண்டத்தில் மோதிப் பொருந்துமாறு செய்யப்படுகிறது. இதனுல் தொடர்கிரியை உடனடியாகத் தோன்றி, வெடிப்பு நிகழ்கிறது. ஹிரோஷிமாவைச் சுடுகாடாக மாற்றிய அணுகுண்டு இத்தகைய துப்பாக்கி வகை முறையில்தான் வெடிக்கும்படிச் செய்யப்பட்டது.

---

1. gun type 2. trigger

அமுக்கு வகை[1]

அமுக்குவகையில் அணு ஆயுதத்தின் மையத்தில் உள்ள உள்ளகத்தில் பிளவுபடுபொருள் பரவலாக (அடர்வு[2] குறைவாக) இருக்கும்படி வைக்கப்படுகிறது. ஆயுதத்தின் உள்ளகம் சுமார் ஒரு கால்பந்தின் அளவு இருக்கும். பிளவுபடு பொருளில் தொடர்கிரியையைத் தொடக்கி வைக்கத் தேவையான நியூட்ரான்கள், கதிரியக்க பொலோனியம்—பெரில்லியம் கலவை[3] ஒன்றிலிருந்து பெறப்படுகின்றன. உள்ளகத்தின் உள்ளே டென்னிஸ் பந்து அளவுள்ள ஓர் அமைப்பில் இக்கலவை காணப்படும். உள்ளகத்தைச் சுற்றி ஓர் உலோக உறையும் அமைக்கப்பட்டிருக்கும். இவ்வுறையின் மேற்பரப்பில் சாதாரண வெடிமருந்தான டி.என்.டி. திட்டுத் திட்டுகளாகப் பரப்பப்பட்டுள்ளது. இந்தத் திட்டுகள் ஒவ்வொன்றும் ஒரு வெடிவைப்பானுடன்[4] இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இந்த எல்லா வெடிவைப்பான்களும் ஒரு பொதுவான மின்சுற்றுடன்[5] இணைக்கப்பட்டுள்ளன.



படம் 15-2. அணுகுண்டில் தொடர்கிரியையைத் தொடக்கி வைத்தல் (அமுக்குவகை)

ஆயுதத்தை வெடிக்க வேண்டுமானால் மின்சுற்றின் வழியாக ஒரு மின்துடிப்பு[6] அனுப்பப்படுகிறது. மின்துடிப்பை எல்லா வெடிவைப்

---

1. implosion type
2. concentration
3. radioactive polonium-beryllium mixture
4. detonator
5. electrical circuit
6. electrical impulse

பான்களும் ஒரே சமயத்தில் பெற்று டி. என். டி. வெடிமருந்துத் திட்டுகளை ஒருங்கே வெடிக்கச் செய்கிறது. வெடிப்பினால் உடனடியாக உள் நோக்கி வீசும் அமுக்கு அலை தோன்றுகிறது. இந்த அமுக்கு அலை அடர்வு குறைந்த பிளவுபடுபொருளை எல்லாப் பக்கங்களிலும் சீராக அமுக்கி பிளவுபடுபொருளை வரம்புநிலை மீறச்செய்கிறது. உடனடியாகத் தொடர்கிரியை தோன்றுகிறது. சக்தி பிறக்கிறது. பிறந்த மாபெரும் சக்தி சிறிய பரிமாணத்திலிருந்து கட்டுக்கடங்காமல் வெடிப் பாகத் தன்னை விடுதலை செய்துகொள்கிறது. இத்தகைய அமுக்குவகை, துப்பாக்கி வகையைவிட அதிக அளவு பிளவுபடுபொருளைத் திறமையாகப் பயன்படுத்திக்கொள்கிறது. எனவே இது துப்பாக்கிவகையை விடச் சிறந்ததாகக் கருதப்படுகிறது. நாகஸாகியைத் தரைமட்டமாக்கிய அணுகுண்டு அமுக்குவகையைச் சேர்ந்ததாகும்.

வெடிப்பை உண்டாக்கத் தேவையான அமைப்புக்கள்

(1) மிகுவரம்பு நிலையைத் தோற்றுவிக்கும் நேரம் மிகமிகக் குறுகியதாக இருக்கவேண்டும். பொதுவாக ஒரு வினாடியில் பத்து லட்சத்தில் ஒரு பங்கு நேரத்தில் தொடர்கிரியை தோன்றி முடியும்படி செய்யவேண்டும்.

(2) அமுக்குவகை ஆயுதத்தில் டி. என். டி. வெடிப்பதால் தோன்றும் அமுக்குஅலை சீராக இருக்கவேண்டும். திட்டுகள் வெவ்வேறு நேரத்தில் வெடித்தால் அமுக்குஅலை சீராக இருக்க முடியாது. எனவே பிளவுபடுபொருள் ஒன்று திரள்வதற்கு மாறாகச் சிதறிவிடும். ஆயுதம் வெடிக்காது.

அணுகுண்டைத் தயாரித்தல், கிடங்குகளில் சேமித்தல், விமானத்தில் கொண்டு செல்லுதல் போன்ற பல்வேறு நிலைகளில் குண்டு கீழே விழுவதாலோ, வேறுவகையில் சேதமடைவதாலோ தவறி வெடித்து விடாமல் இருக்க, பல பாதுகாப்பு சாதனங்கள் அதில் பொருத்தப் பட்டிருக்கின்றன.

வெடிப்பு சக்தியின் பங்கீடு

ஒரு குண்டு வெடிக்கும்பொழுது வெளிப்படும் சக்தி வெப்பசக்தியாகவோ, இயங்குசக்தியாகவோ வெளிப்படலாம். பொதுவாக, வெப்பசக்தி வெப்பக்கதிர்வீச்சாக வெளிப்படுகிறது. இயங்குசக்தி அதிர்ச்சி அலையாகவோ, பெருங்காற்றலையாகவோ இரண்டுமாகவோ பரிணமிக்கிறது. சக்தி வெப்பசக்தியாகவும் இயங்குசக்தியாகவும் பங்கிடப்படும் விகிதம் வெடிப்பில் தோன்றும் உஷ்ணநிலையைப் பொறுத்துள்ளது. உஷ்ணநிலை அதிகரிக்க அதிகரிக்க, வெளிப்படும் வெப்பசக்தியின் விகிதம் அதிகரிக்கிறது.

அணு ஆயுதங்களில் தோன்றும் உஷ்ணநிலை சாதாரண வெடிகுண்டுகளில் தோன்றும் உஷ்ணநிலையைவிடப் பல்லாயிரம் மடங்குகளாகும்.

எனவே, சக்தியானது சாதாரண குண்டுகளில் பெருமளவு இயங்கு சக்தியாகவும் அணு ஆயுதங்களில் பெருமளவு வெப்பக்கதிர்வீச்சாகவும் வெளியிடப்படுகிறது.

சுமாரான காற்றழுத்தம் உள்ள வெளியில் கருவெடிப்பு நிகழ்ந்தால், வெளிப்படும் சக்தியில் சுமார் 50 சதவிகிதம் வெடிப்பையும் அதிர்ச்சியையும் உண்டாக்கச் செலவழிக்கப்படுகிறது. 35 சதவிகிதமே வெப்பக்கதிர்வீச்சாக உருப்பெறுகிறது. இதற்கும் மேலே உயரத்தில் வெடிப்பு நிகழுமானால், காற்றழுத்தம் குறைவாதலின், வெப்பக்கதிர் வீச்சாகப் பரிணமிக்கும் சக்தியின் விகிதம் அதிகமாகிவிடும். அதிர்ச்சியாக மாறும் சக்தியின் விகிதம் குறைந்துவிடும்.

பூமிக்கடியில் நிகழும் வெடிப்பில், சக்தியின் சிறுபங்கே வெப்பக் கதிர்வீச்சாக மாறி வெளியேறுகிறது. அதிர்ச்சி, வெப்பசக்திகளைத் தவிர சுமார் 5 சதவிகிதம் தொடக்கக் கருக்கதிர்வீச்சாக[1], வெடிப்பு நிகழ்ந்த ஒரு நிமிடத்திற்குள் வெளியேறுகிறது. அதாவது வெடிப்பினால் வெளிப்படும் கதிர்வீச்சுப் பொருள்களின் சக்தியாகச் செலவழிக்கப் படுகிறது. மீதியுள்ள 10 சதவிகிதம் தேங்கிய கருக்கதிர்வீச்சாகப்[2] பரிணமித்து வெடிப்பு நிகழ்ந்து சிறிது காலம் கழிந்தபின் வெளிப்படுகிறது. இது பெரும்பாலும் பிளவினால் தோன்றிய பொருள்களின் (அதாவது வெடிப்பின் பின் நிற்கும் எச்சங்கள்[3] அல்லது துண்டங்களின்[4]) கதிரியக்கமாக வெளிப்படுகிறது. வெப்பக்கரு வெடிப்புக்களில் பிளவு சக்தியும் பிணைவு சக்தியும் ஏறக்குறைய சம அளவில் தோன்றுகின்றன. வேறுவிதமாகக் கூறினால், மொத்த சக்தி வெளிப்பாட்டில் பிளவு சக்தி பாதி அளவே ஆகும். தேங்கிய கருக்கதிர்வீச்சு, பொதுவாக, பிளவினால் மட்டுமே தோன்றுவதால் வெப்பக்கரு வெடிப்புக்களில் மொத்த சக்தியில் 5 சதவிகிதமே தேங்கிய கருக்கதிர் வீச்சாக உருவாகிறது. தேங்கிய கருக்கதிர்வீச்சு மறைய வெகுகாலம் ஆகிறது. எனவே ஓர் ஆயுதத்தின் சக்தியைக் குறிப்பிடும்பொழுது தே. க. க. வீ. இன் சக்தி அளவு கணக்கில் சேர்க்கப்படுவதில்லை. ஆகவே பிளவுமுறையில் சக்தி அளவு கூறப்படும்பொழுது மொத்த சக்தி வெளிப்பாட்டில் 90 சதவிகிதமே வெடிப்பு சக்தியாக கணக்கிடப் பெறுகிறது. அவ்வண்ணமே பிணைவுமுறையில் குறிப்பிடப்பெறுவது மொத்தசக்தியில் 95 சதவிகிதமேயாகும்.

கரு ஆயுத வெடிப்பு முறைகள்

கரு ஆயுதங்கள், அழிக்கப்பட வேண்டிய இலக்கையும், ஏற்படுத்த வேண்டிய நாசத்தையும் பொறுத்து வெவ்வேறு முறைகளில் வெடிக்கப் படலாம். உதாரணமாக, சில சமயங்களில் பூமியில் பெரிய பள்ளம் உண்டாக்கவும், சில சமயங்களில் மிகப் பெரிய மேடு பள்ளங்களை

---

1. initial radiation 2. residual radiation
3. residues 4. debris

சமப்படுத்தவும் வேண்டிய அவசியம் ஏற்படலாம். சில இடங்களில் அதிர்ச்சி விளைவிப்பதே முக்கிய நோக்கமாகவும், மற்றும் சில இடங்களில் கதிர்வீச்சின் அபாயகரமான விளைவுகளை உண்டாக்குவதே முக்கிய நோக்கமாகவும் அமையலாம்.

பலவிதமான கருஆயுத வெடிப்பு முறைகள் கீழே தரப்பட்டுள்ளன.

வெடிப்பு முறைகள்

காற்று[1] வெடிப்பு	அதிஉயர[2] வெடிப்பு	நீர்கீழ்[3] வெடிப்பு	தரைகீழ்[4] வெடிப்பு	மேற்பரப்பு[5] வெடிப்பு

காற்று வெடிப்பு

கரு ஆயுத வெடிப்பு நிகழ்ந்தவுடன் நெருப்புப் பந்து[6] ஒன்று உருவெடுக்கிறது. இது ஆயுதத்தின் எச்சங்கள், சுற்றுப்புற பொருள்கள் ஆகியவைகளைக் கொண்டதாய், ஒளிவிடும் மிகச் சூடான ஒரு கோளமாய்த் திகழ்கிறது. இந்த நெருப்புப் பந்தானது அதன் பிந்திய கட்டங்களில் மிகவும் பளப்பளப்புடையதாக மாறும். வெடிப்பிற்குப் பின் தோன்றும் நெருப்புப்பந்து, அதன் பளபளப்புக் கட்டத்தில் பூமியின் மேற்பரப்பைத் தொடா வண்ணம் அமையுமாறு, ஓர் குறிப்பிட்ட உயரத்தில் வெடிக்கப்பட்டால், அத்தகைய வெடிப்பு காற்று வெடிப்பு எனப்படும். உதாரணமாக ஒரு மெகாடன் கரு ஆயுதத்தின் வெடிப்பில் நெருப்புப் பந்தானது அதன் அதிக பளபளப்புக் கட்டத்தில் 5800 அடி விட்டம் உடையதாய் அமைகிறது. எனவே நெருப்புப்பந்தின் ஆரம் 2900 அடியாகும். இத்தகைய நிலையில் வெடிப்பு காற்று வெடிப்பாக அமைய வேண்டுமானால் ஆயுதம் சுமார் 2900 அடிக்கு மேற்பட்ட உயரத்தில் வெடிக்கப்பட வேண்டும்.

காற்று வெடிப்பில் தோன்றும் நெருப்புப்பந்தின் உஷ்ணநிலை பல நூறு லட்சம் டிகிரிகளாகும். இவ்வுஷ்ணநிலையில் சுற்றுப்புற பொருள்களெல்லாம் ஆவியாக்கப்படுகின்றன. மேலும் மிகச் சிறியதான இடத்தில், மிக விரைவில் இது நிகழ்வதால் சுற்றுப்புற அழுத்தம் சாதாரணக் காற்றழுத்தத்தைப்போல் பல லட்சம் மடங்காக அதிகரிக்கிறது. அதன் விளைவாக, நெருப்புப்பந்து வெகு விரைவில் விசுவரூபம் கொள்கிறது. வெடிப்பு நிகழ்ந்த ஒரு மில்லி செகண்டிற்குப்பின் நெருப்புப்பந்தின் ஒளியானது (1–மெகாடன் வெடிப்பில்) 50 மைலுக்கப்பாலுள்ள மனிதருக்கு உச்சிவேளை சூரியனை விடப் பலமடங்கு பிரகாசம் உடையதாய்த் தென்படும். மேலும் வெடிப்பின் ஒளியானது

---

1. air explosion
2. high altitude explosion
3. underwater explosion
4. underground explosion
5. surface explosion
6. fireball

700 மைலுக்கப்பாலும் கூடத் தெரியும் இயல்புடையதாகும். வெடிப்பு நிகழ்ந்த 0·7 மில்லி செகண்டிற்குள் நெருப்புப்பந்து 440 அடி விட்டம் உடையதாகவும், 10 செகண்டிற்குள் 7200 அடி விட்டம் உடையதாகவும் பெருக்கமடைகிறது. செகண்டிற்கு 300 அடி வீதம் அது மேலே எழுந்து ஒரு நிமிட நேரத்தில் $4\frac{1}{2}$ மைல் உயரத்திற்கும் மேலாக எழும்பி, குளிர்ந்து, பின் மறைகிறது.

வெடிப்பினுல் தோன்றும் வெப்பக் கதிர்வீச்சு வெகு தூரம் பரவும் இயல்பு பெற்றதாகும். 1–மெகாடன் ஆயுத வெடிப்பில், 12 மைலுக் கப்பாலுள்ள மனிதர்களின் (ஆடையால் மூடப்படாத) பாகங்களில் தோலைத் தீய்க்கும் அளவிற்கு வெப்பக் கதிர்வீச்சு வலிமை உடையதாய் இருக்கும். 75 மைலளவு வரையிலும் கூட அனலை உணர முடியும். கட்டிடம், மேலணியும் துணிகள் போன்ற வெப்பம்கடத்தாப்பொருள் கள் இவ் வெப்பக்கதிர்வீச்சினின்று பாதுகாப்பளிக்க வல்லவை.

வெப்பக்கதிர்வீச்சில் ஒரு குறிப்பிட்ட சதவிகிதம் புற ஊதாக் கதிர் களாகவும் எஞ்சிய பகுதி அகச் சிவப்புக் கதிர்களாகவும் மற்றும் ஒளியாகவும் வெளிப்படுகின்றன. புற ஊதாக் கதிர்கள் கண்களில் கெடுதலைத் தற்காலிகமாகவோ நிரந்தரமாகவோ விளைவிக்க வல்லன. சிறிதளவு தூரத்திலேயே இவை காற்றினுல் உட்கவரப்படுகின்றன. அகச் சிவப்புக் கதிர்கள் தோலில் தீப்புண்களை விளைவிக்க வல்லன. காற்று வெடிப்பில், அதிர்ச்சி சக்தியில் பெருமளவு காற்றிலேயே செலவழிக்கப்படுகிறது; சிறிதளவு பூமியையும் அடைகிறது. வெடிப்பில் பிளவுக்கிரியை நிகழும்பொழுது நியூட்ரானும் காமாக்கதிர்களும் தோன்றுகின்றன. பிளவு நிகழ்ந்த பின் நியூட்ரான்களில் ஒரு பகுதி காற்றில் உள்ள அணுக்களுடன் கிரியை புரிந்து வெடிப்பு நிகழ்ந்த இடத்தைச் சுற்றிலும் காமாக்கதிர்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. அத்துடன் பிளவு விளைபொருள்களும் கதிரியக்கம் காரணமாக ஆல்ஃபா, பீட்டா, காமாக்கதிர்களை வெளிப்படுத்துகின்றன. ஆகவே தொடக்கக் கதிர்வீச்சில் முக்கியமானவை நெருப்புப்பந்தும், கதிர்வீசும் பொருள்களடங்கிய மேகமும் அவற்றிலிருந்து வெளிவரும் நியூட்ரான் களும் காமாக்கதிர்களுமாகும்.

இதைத் தவிர, அபாயம் ஏதும் விளைவிக்காத சில நிகழ்ச்சிகளும் காற்று வெடிப்பில் தோன்றுகின்றன. காற்றில் உள்ள நைட்ரஜன், ஆக்ஸிஜன் அணுக்களுடன் காமாக்கதிர்கள் கிரியை புரிவதன் இறுதி விளைவாக ஊதா நிற ஒளியொன்று நெருப்புப்பந்திற்குச் சிறிது தள்ளி காணப்படுகிறது. கதிர்வீசும் மேகத்தின் தலைப் பகுதிக்கு அருகில் இது சில காலம் நீடித்து நிற்கிறது.

மேற்கூறிய விளைவுகள் அனைத்துமே காற்று வெடிப்பிற்கு மட்டு மின்றி, மற்ற வகை வெடிப்புகளுக்கும் பொதுவானவை. வெடிப்பில் தோன்றும் சக்தி எவ்வகையில் அதிர்ச்சி, மோதல், கதிர்வீச்சு இவை களுக்குள் பகிர்ந்தளிக்கப்படுகிறது என்பதில்தான் வெவ்வேறுவகை

வெடிப்புகள் மாறுபடுகின்றன. ஆனால் அவ்வவற்றிற்குரிய சில சிறப்பு வினைகளும் உண்டு. அவற்றை இனிக் காண்போம்.

அதிஉயர வெடிப்பு

அதிஉயர வெடிப்பில், ஆயுதமானது காற்றின் அழுத்தம் மிகமிகக் குறைவாக இருக்கும் உயரங்களில் வெடிக்கப்படுகிறது. உதாரணமாக 1958ஆம் ஆண்டில் ஆகஸ்டு 1, 12 தேதிகளில் அமெரிக்கா, பசிபிக் பெருங்கடலில் அமைந்த ஜான்ஸ்டன்[1] தீவிற்கு அருகாமையில் 2,52,000 அடி உயரத்திலும் (48 மைல்) 1,41,000 அடி உயரத்திலும் (27 மைல்) வெடித்தது. காற்றழுத்தம் குறைந்த வெளியில் நெருப்புப் பந்து மிக விரைவில் வளர்ந்தது. 0·3 செகண்டில் அதன் விட்டம் 11 மைல்களாகவும், 3·5 செகண்டில் 18 மைல்களாகவும் மாறியது. அது மேலெழும்பும் வேகம் செகண்டிற்கு ஒரு மைலாக இருந்தது. நெருப்புப்பந்தைச் சுற்றி மிகப் பெரிய வட்ட வடிவமான சிவப்பு நிற அலையும் காணப்பட்டது. வெடிப்பு நிகழ்ந்த 6 நிமிடங்களுக்குப் பிறகு அலையின் விட்டம் 600 மைல்களாயிற்று. மற்றும் நெருப்புப்பந்தின் அடியில் வெடிப்பிற்கு ஓரிரு செகண்டுகள் கழித்து மிகப் பிரகாசமான ஒளிக்கதிர்கள் அடங்கிய, பழுப்பு நிற அலைக்கரங்களுடன் கூடிய அரோராவும்[2] காணப்பட்டது. வெடிப்பில் தோன்றும் பீட்டாக்கதிர்கள் பூமியின் காந்தப்புலக் கோடுகளின்[3] வழியே செல்லும்பொழுது அரோரா தோன்றுகிறது எனக் கருதப்படுகிறது.

நீர்கீழ் வெடிப்பு

நீர்கீழ் வெடிப்பில் ஏற்படும் நெருப்புப் பந்து, காற்று வெடிப்பில் தோன்றுவதைக் காட்டிலும் அளவில் சிறியது. நெருப்புப் பந்து நீரின் வழியே மேலே வரும்பொழுது குளிர்ந்து விடுவதால் கண்ணிற்குத் தெரிவதில்லை. நீரின் கீழ் நெருப்புப் பந்து பெருக்க மடைவதால் அதிர்ச்சி அலை நீரில் தோன்றி, நீர் மேற்பரப்பில் வெண்மையான நுரையைத் தோற்றுவிக்கிறது. மேலும் நெருப்புப் பந்து நீர்மட்டத்தை அடைந்து பின் உயரும் பொழுது அதனுடன் நீரும் எழும்பி தூண் போன்ற தோற்றத்தைக் கொடுக்கிறது. இதைத் தவிர, நீர்ப்பரப்பில் வெடிப்பு நிகழ்ந்த இடத்திலிருந்து ஒன்றன்பின் ஒன்றெனப் பல அலைகள் தோன்றி வெளியேறுகின்றன. நீர்த்தூண் மறுபடியும் நீர்ப்பரப்பில்

---

1. Johnston

2. aurora–பூமியின் துருவப்பிரதேசங்களில் வானத்தில் தீச்சுடர்கள் போன்று, வேறுவேறு நிறங்களுடன் கூடியதாய் விட்டுவிட்டுத் தோன்றும் ஜோதிக்கு அரோரா எனப் பெயரிட்டிருக்கின்றனர். இதைப் போன்ற ஒளி, வெடிப்பிற்குப்பின் தோன்றுவதால் இதையும் அரோரா என்கிறார்கள்.

3. earth's magnetic field

வீழ்ந்து இணையும் பொழுது பேரலைகள் தோன்றுகின்றன. நீர்கீழ் வெடிக்கப்படும் ஆயுதத்தின் முக்கிய நோக்கம் இவ்வலைகளின் மூலமே நிறைவேறுகிறது. நெருப்புக் கோளம் மற்றும் கதிரியக்கப் பொருள்கள் ஆகியவைகளின் பெரும்பாகம் நீரில் திரும்பவும் வீழ்ந்து விடுவதால் இந்த அலைகள் மிகவும் அபாயகரமான சுற்றுப் புறத்தை உண்டாக்கிவிடுகின்றன. காற்று வீசும் திசையில் இவை பல மைல் தூரத்திற்கும் பரவி, கடும் ஆபத்தை விளைவிக்கின்றன. எனவே எதிரியின் துறைமுகத்திற்கு நீர்மூழ்கிக் கப்பல் மூலம் அணுகுண்டு கொண்டு போகப்பட்டு வெடிக்கப்பட்டால், துறைமுகப் பகுதிகளை அலையடி எழுச்சி[1] அழித்துவிடும். நீர்கீழ் வெடிப்புக்கள் குறைந்த ஆழத்திலோ அதிக ஆழத்திலோ நடத்தப்படலாம். அதிக ஆழ வெடிப்புக்களை எதிரி அறிய நேரும் சந்தர்ப்பங்கள் குறைவாதலின், போர் உபயோகங்களுக்கு இத்தகைய வெடிப்புக்களே மிகவும் பயன் படுவனவாகும்.

1946இல் அமெரிக்கா, பசிபிக் கடலில் பிகினித்தீவில்[2], 20 கிலோ டன் ஆயுதத்தை ஏரி போன்ற பகுதியில் நீர்ப்பரப்பிற்கு வெகு கீழே வெடித்துச் சோதனை செய்தது.

தரைகீழ் வெடிப்பு

தரைகீழ் வெடிப்பிலும் நீர்கீழ் வெடிப்புப் போன்ற நெருப்புப் பந்து தரைக்கு மேல் வருவதற்குள் பெரும்பாலும் குளிர்ந்து விடுகிறது. மேலும் அது எழும்பொழுது கூடவே மணல், பாறை, தூசி போன்ற பலவும் சேர்கின்றன. சிறிது தூரத்திற்குப் பின் அது முனையில் நிறுத்திய கூம்பின் தோற்றத்தை அடைகிறது. இந்த நெருப்புப் பந்து மேன்மேலும் 'அகலமாகிறது. தரைகீழ் வெடிப்பின் முக்கிய அம்சம், தரையில் இது பெரிய பள்ளத்தை ஏற்படுத்துவதாகும். 50 அடிக்குக்கீழ் 1-மெகாடன் ஆயுதம் வெடிக்கப்பட்டால் பள்ளம் 1400 அடி குறுக்களவு உடையதாகவும் 300 அடி ஆழம் உள்ளதாகவும் இருக்கும் எனக் கணக் கிடப்படுகிறது. இத்தகைய வெடிப்பு சுமார் ஒரு கோடி டன் எடை யுள்ள மணலையும் பாறைகளையும் பூமிப்பரப்பிலிருந்து மேலே தூக்கி எறிகிறது. இவை மறுபடியும் பூமியில் படியும்பொழுது, காற்றுவீச்சின் காரணமாக வெடிப்பு நிகழ்ந்த இடத்தைச் சுற்றிலும் கதிர்வீச்சு அபாயம் நேர்கிறது.

மேற்பரப்பு வெடிப்பு

மேற்பரப்பு வெடிப்பில் ஆயுதம் தரைக்கு வெகு அருகில் வெடிக்கப் படுகிறது. இதனால் காற்று வெடிப்பில் போலல்லாது, நெருப்புப் பந்து தன் ஆரம்ப வளர்ச்சியின் போதே பூமியைத் தொடுகிறது. இதன்

1. base surge 2. Bikini islands

சூட்டினுல் பூமியின் மேற்பரப்பு, அடியில் உள்ள பாறைகள் முதலியன ஆவியாகி, நெருப்புப் பந்துடன் சுருண்டு எழும் ஆயுத எச்சங்களுடன் சேர்ந்து கொள்கின்றன. மேலும் நெருப்புப் பந்து மேலெழும் போது உண்டாகும் காற்று வீச்சுக்கள் தூசியையெழுப்பி அதையும் சேர்த்துக் கொள்கின்றன. இதனுல் சிறிது நேரங் கழித்துத் தோன்றும் மேகங் களில் உள்ள பொருளின் அளவு, காற்று வெடிப்பில் ஏற்படுவதைக் காட்டிலும் பன்மடங்கு அதிகமாக இருக்கும். மேற்பரப்பு வெடிப்பானது தரைகீழ் வெடிப்புப் போன்றே பெரும் பள்ளங்களை உண்டாக்குகிறது. இத்தகைய மேற்பரப்பு வெடிப்புக்கள் நீர்ப்பரப்பின் மேலும் வெடிக்கப் படலாம். அச்சமயத்தில் தூசித்திரள்களுக்குப் பதிலாக நீராவியானது நெருப்புப் பந்துடன் இணையும்.

வெடிப்பின் விளைவுகள்

காற்று வெடிப்பில் தோன்றும் வெடிப்பு அலை, கட்டடங்களைத் தாக்கும் பொழுது மாபெரும் சுத்தி ஒன்றினுல் அடிக்கப்பெறும் விளைவை ஒத்த அதிர்ச்சியைக் கொடுக்கிறது. வெடிப்பு அலையின் முன்பாகம் கட்டடத்தின் மறுமுனையை அடையும் பொழுது, கட்டடம் முழுவதுமே அலையின் பிடியில் சிக்கி விடுகிறது. இதனுல் அதிர்ச்சி அதனை நொறுக்கவோ நசுக்கவோ செய்கிறது. கட்டடத்தின் வலிமை, வடிவம், காற்று புகக்கூடிய வாய்களின் எண்ணிக்கை, குண்டு வெடிக்கப் பட்ட உயரம், அதன் சக்தி, அளவு ஆகியவற்றைப் பொறுத்து கட்டடத் திற்குச் சேதம் விளைகிறது. தாழ் வெடிப்பு வலிமையான கட்டடங் களையும் கூட அழித்துவிடும். உயர்வெடிப்போ வலிமையற்ற கட்டடங் களை மட்டுமே அழிக்கவல்லது.

வெடிப்பு அலை மனிதர்களுக்கு நேரடியாக விளைவுக்கும் சேதம் மட்டுமின்றி, இடிந்து விழும் கட்டடங்கள், பறக்கும் துண்டங்கள், சிதறும் கண்ணுடிச் சில்லுகள் போன்றவையும் மேலும் உயிர் இழப் பிற்கும், உடற்காயங்களுக்கும் காரணமாகின்றன. வெடிப்பு அலையின் நேரடிச் சேதம் முக்கியமாக செவிப்பறைக்கே[1] நேர்கிறது. மற்றும் காற்று அடங்கிய நுரையீரல்[2] போன்ற உறுப்புக்களில் காற்று அழுத்தத் தைப் பாதித்து ரத்தநாள வெடிப்பிற்கும்[3] வெடிப்பு அலை காரண மாகிறது.

வெடிப்பு அலையினுல் கட்டடங்கள் இடிந்துவிழுவது மட்டுமின்றி, வெப்பக் கதிர்வீச்சு அவற்றில் தீ மூட்டுகிறது. காகிதம், மரம் போன்றவை மிக எளிதில் தீப்பற்றிக் கொள்வதால் சுற்றுப்புறத்திற்குச் சேதம் விளைகிறது. வெப்பக் கதிர்வீச்சினுல் சுற்றுப்புற உயிர்கள் பொசுக்கப்பட்டு விடுகின்றன. மற்றும் நெருப்புப் பந்தின் தீவிர ஒளி, அருகே விழித்திரைஎரிப்பு[4] போன்ற அபாயகரமான கெடுதல்களை

1. ear drum 2. lung 3. haemorrhage 4. retinal burn

யும், தொலைவில் தற்காலிகக் குருட்டுத் தன்மையையும் உண்டாக்கு கிறது.

தொடக்கக் கருக்கதிர்வீச்சில் தோன்றும் உடனடி காமாக் கதிர் களும், உடனடி நியூட்ரான்களும் சூழ்ந்திருக்கும் பொருள்களால் கிரகிக்கப்படுவதால் இப் பொருள்களில் கதிரியக்கம் தூண்டப்படுகிறது. இதனுல் கதிரியக்க அபாயம் அதிகமாகிறது.

ஜப்பானில் அணுகுண்டினுல் சேதம்

ஜப்பானில் வெடிக்கப்பட்ட அணுகுண்டுகள் 20 கிலோடன் ஆயுதங் களாகும். இவை காற்று வெடிப்பாக 2000 அடி உயரத்திற்குச் சற்று மேலாக வெடிக்கப்பட்டன. ஹிரோஷிமாவில் 78,000 பேர் கொல்லப் பட்டனர்; 37,000 பேர் காயமடைந்தனர்; நாகஸாகியில் இறந்தவர்கள் 24,000; காயமடைந்தவர்கள் 23,000. வெடிப்பு நிகழ்ந்த இடத்திலிருந்து அரை மைலுக்குள் மரணம் 90 சதவிகிதமாகவும், அதற்கு மேற்பட்ட $1\frac{1}{2}$ மைலுக்குள் 50 சதவிகிதமாகவும், அதற்கு மேற்பட்டு ஒரு சதவிகித மாகவும் இருந்தன. அரை மைலுக்குள், பூகம்பத்தைத் தாக்குப் பிடிக்குமாறு உருவாக்கப்பட்டிருந்த உறுதியுடை கான்க்ரீட்[1] கட்ட டங்களும் மற்றவைகளும் அநேகமாக அழிக்கப்பட்டன. ஒன்றரை மைலுக்குள் அநேகமாக எல்லாக் கட்டடங்களும் அழிக்கப்பட்டன. சேதம் சுமார் 3 மைல் வரை பரவியது.

மரணமடைந்தவர்களில் 60 சதவிகிதம் எரிப்பினுல் (வெப்பக் கதிர் வீச்சு, தீ இவற்றின் விளைவால்) இறந்தனர் என்றும், 20 சதவிகிதம் இடிந்துவிழும் கட்டடங்கள், பறக்கும் இடிபாடுகள் இவற்ருல் தாக்கப் பட்டு மாண்டனர், என்றும், மற்றும் 20 சதவிகிதம் கருக்கதிர்வீச்சு போன்ற மற்றைய காரணங்களால் மடிந்தனர் என்றும் கணக்கிடப் பட்டுள்ளது.

அதிசக்திக் கரு ஆயுதங்கள்[2]

இனி அதிசக்திக் கரு ஆயுதங்கள் விளைவிக்கும் சேதத்தின் இயல்பைக் காண்போம். வெடிப்பு அலையினுல் சேதப்படும் தூரம், வெடிப்பு சக்தியின் மூன்றும் வர்க்க மூலத்திற்கு (அதாவது, கன மூலத்திற்கு) நேர்விகிதத்தில் அமைகிறது. 20 மெகாடன் ஆயுதம் 15 மைல்வரை முழுச் சேதத்தை விளைவிக்கும். வெடிப்புஅலை 10 செகண்டுகளுக்குத் தொடர்வதால் மிக உறுதியான கட்டடங்கள் கூடத் தப்புவது கடினம்.

வெப்பக் கதிர்வீச்சினுல் நிகழும் சேதத்தின் பரப்பு, வெடிப்பு சக்திக்கு நேர்விகிதத்தில் அமைகிறது; நகரத்தின்மீது இத்தகைய குண்டு வெடிக்கப்பட்டதால் 80 சதுர மைல்களுக்குள் இருக்கும் கட்ட

1. reinfcrced concrete 2. high yield nuclear weapons

டங்கள் பெரும்பாலும் பொடியாக்கப்பட்டுவிடும். கடும் சேதம் 200 சதுர மைல்களுக்கும், சுமாரான சேதம் 1000 சதுர மைல்களுக்கும் பரவும். பெரிய நகரங்கள்கூட அதிலிருந்து தப்ப இயலாது.

அணு ஆயுத வெடிப்பினால் தோன்றும் கதிர்வீச்சு அபாயங்கள் எண்ணற்றன. கதிர்வீச்சினால் மனிதர்களுக்கு ஏற்படும் அபாயங்களும், அவற்றிலிருந்து தற்காத்துக்கொள்ளச் செய்யப்படும் நடவடிக்கைகளும் அணுக்கதிர்-உயிரியல், அணுக்கதிர்-தற்காப்பு என்னும் அத்தியாயங்களில் விவரிக்கப்பட்டுள்ளன.

புறவீழ்வு[1]–உள்ளூர்ப் புறவீழ்வும்[2] உலகப் புறவீழ்வும்[3]

புறவீழ்வு என்பது என்ன? அது எவ்வாறு நிகழ்கிறது என்பதைப் புரிந்துகொள்ள, காற்று மண்டலத்தைப்[4] பற்றிய விவரங்களை முதலில் புரிந்து கொண்டாக வேண்டும்.

காற்று மண்டல அமைப்பு

பூமியிலிருந்து மேலே செல்லச்செல்ல உஷ்ணநிலை குறைந்து கொண்டே செல்கிறது. பூமியின் வெப்பப் பிரதேசங்களிலும்[5] சமசீதோஷ்ணப் பிரதேசங்களிலும்[6] இத்தகைய உஷ்ணநிலைக் குறைவு 10 மைல் வரையும், துருவப் பிரதேசங்களில்[7] 5 மைலளவு வரையும் காணப்படுகிறது. இந்த எல்லைக்குமேல் செல்லச்செல்ல உஷ்ணநிலை அதிகரிக்க ஆரம்பித்து விடுகிறது. இவ்வாறு உஷ்ணநிலை தலைகீழ் மாற்றம் அடையும் பிரதேசத்தை மாற்றநிற்பு[8] என்பர். பூமிக்கு மேலும் மாற்ற நிற்பிற்குக் கீழும் உள்ள மண்டலம் மாறுகோளம்[9] எனப்படும். இந்த மாறுகோளத்தில் ஒரு கிலோ மீட்டர் உயரத்திற்கு 6 டிகிரி சென்டிகிரேடு வீதம் உஷ்ணநிலை குறைந்துகொண்டே வருகிறது. அதன்பின் மாற்ற நிற்புப் பிரதேசத்திலிருந்து உஷ்ணநிலை வேகமாக அதிகரிக்க ஆரம்பித்துவிடுகிறது. இம்மண்டலத்தில் 50 டிகிரி சென்டிகிரேட் வரை உஷ்ணநிலை அதிகரித்து, அதன்பின் 30 கிலோமீட்டர் உயரம் வரை உஷ்ணநிலை, மாற்றம் அடையாமல் இருக்கிறது. உஷ்ணநிலை இவ்வாறு மாறுது இருக்கும் பிரதேசத்தை படிவுகோளம்[10] என்பர். இந்தப் படிவுகோளத்திற்குமேல் மறுபடியும் உஷ்ணநிலை அதிகரிக்கிறது.

பருவநிலையின் வெவ்வேறு நடப்புக்களான காற்றுவீச்சு, புயல், மேகம், மழை அனைத்தும் மாறுகோளத்தில் நிகழ்வன. படிவு கோளத்தில் கீழ்மேலான காற்றசைவுகள் கிடையாது. ஆனால் பக்க

---

1. fallout
2. local fallout
3. global fallout
4. atmosphere
5. tropic region
6. temperate region
7. polar region
8. tropopause
9. troposphere
10. stratosphere

வாட்டுக் காற்று வீச்சுக்கள் அநேகமாக நடைபெறுகின்றன எனக் கூறலாம். மாற்றநிற்புக்கு மேலும் கீழும் காற்றுவீச்சுக்கள் எதிரெதிர்த்திசையில் நிகழ்கின்றன. படிவுகோளத்தில் உஷ்ணநிலைச் சரிவு[1] இல்லாததால், அங்கு காற்றுத் திணிவில் மாற்றம், சலன ஓட்டங்கள்[2] ஆகியவை தடைபடுகின்றன. எனவே சலன ஓட்டத்துடன் எழும்பிவந்த தூள், துண்டங்கள் யாவும் மாற்றநிற்பிலேயே தடைப்பட்டு அங்கேயே சிறிது காலம் தங்கிவிடுகின்றன. நாளடைவில் அவை பூமிக்குத் திரும்புகின்றன.

நெருப்புப் பந்தும் காற்று மண்டலமும்

கரு ஆயுதங்கள் வெடிக்கும்பொழுது கதிரியக்கப் பொருள்களைப் பிறப்பிக்கின்றன. கரு ஆயுதங்களால் விளையும் தீமைகளும், அவற்றின் பரவலும் கதிரியக்கப் பொருள்கள் எங்கு படிகின்றன என்பதைப் பொறுத்திருக்கும்.

குறைந்த உயர காற்று வெடிப்புகளிலும் மேற்பரப்பு வெடிப்புகளிலும் நெருப்புப் பந்து பூமியையோ, நீர்ப்பரப்பையோ தொடுகிறது. இதனால் பல்லாயிரம் டன் நிறையுள்ள சுற்றுப்புறப் பொருள்கள் அதனுடன் சேர்ந்துகொள்கின்றன. நெருப்புப் பந்து விநாடிக்கு ஆயிரம் அடி வேகத்திற்குமேல் எழும்பொழுது ராட்சதக் காற்று வீச்சுக்கள் உருவெடுக்கின்றன. அவை தூசி, துண்டங்களை மேற்பரப்பிலிருந்து கிளப்பி, அவற்றை நெருப்புப் பந்துடன் இணையச் செய்கின்றன. வெடிப்பு நிகழ்ந்த சில விநாடிகளில் நெருப்புப் பந்தின் மையத்தில் மேல்நோக்கிய ஓர் இழுப்பும், வெளிப்புறத்தில் கீழ்நோக்கிய ஓர் இழுப்பும் நிகழ்கின்றன. இத்தகைய சுற்றோட்ட இழுப்புக்களால் நெருப்புப் பந்து சுருள் வடிவத்தை அடைகிறது. பிளவுவிளை பொருள்கள், வடை வடிவத்தை ஒத்த இத்தகைய புகைச்சுருள் பிரதேசத்தில் கட்டுப்படுகின்றன.

ஒரு நிமிடத்திற்குள் ஆவி, மற்றும் தூசுகளின் மேகம் 50,000 அடி உயரம் வரை, பலத்த சுற்றோட்டங்களுடன் எழும்பிவிடுகின்றன. இவ்வாறு நெருப்புப் பந்தும், மேகமும் மிகவும் சிக்கலான முறையில் மேலே செல்கின்றன. இங்கு எளிமையான முறையில் விளக்கும் பொருட்டு, வெடிப்பு மேகமானது மாறுகோளம் மற்றும் படிவுகோளம் ஆகிய இவைகளுக்கிடையே பங்கிடப்பெறுகிறது எனக்கொள்வோம். இக் கோளங்களில் தங்கும் தூசு, மேகத்தின் அளவு, வெடிப்பு நிகழ்ந்த சமயத்தில் நிலவிய வானிலை, வெடிப்பின் சக்தி, அதன் இயல்பு ஆகியவற்றைப் பொறுத்து மாறுபடுகிறது. குறிப்பாக, நெருப்புப் பந்து எந்த அளவிற்குப் பூமியின் மேற்பரப்பைத் தொடுகிறது என்பது இப்பங்கீட்டை வெகுவாகத் தீர்மானிக்கிறது. பூமியின் மேற்பரப்பிற்கு அண்மையில் உள்ள மாறுகோளத்தில் தங்கும் பொருள்கள் யாவும்

---

1. temperature gradient 2. convection currents

மழை, பனி போன்றவற்ருல் வெகு விரைவில் (3 அல்லது 4 வாரங்களுக்குள்) பூமிக்குக் கொண்டுவரப்படுகின்றன. இந்நிகழ்ச்சியை உள்ளூர்ப் புறவிழ்வு என்பர். மாருக, படிவுகோளத்தை அடைந்த பொருள்கள் உலகப் புறவீழ்வாகப் படிகின்றன.

ஒரு கிலோடன் சக்தி உடைய வெடிப்பில் படிவுகோளம் வரை தூசுமேகம் அநேகமாகச் செல்வதில்லை. மாறுகோளம் வரையே பொதுவாகச் செல்கிறது. எனவே கிலோடன் அணுகுண்டு வெடிப்பில் உள்ளூர்ப்புறவீழ்வும், மாறுகோளப் புறவீழ்வும்[1] உண்டாகும்.

மெகாடன் ஆயுதங்களில் படிவுகோளத்தில் தங்கும் பொருள்கள் மிக அதிகம். மாறுகோளத்தில் தங்கும் பகுதிகள் வெகு விரைவில் மழை, பனி போன்றவற்ருல் திரும்பவும் பூமிக்குக் கொணரப்படுகின்றன. எனவே முதலில் உள்ளூர்ப்புறவீழ்வு நிகழ்கிறது. படிவுகோளத்தில் உள்ள பொருள்கள் சில மணிகளிலோ சில நாட்களிலோ மாற்றநிற்பிற்குத் திரும்புகின்றன. தூசு துண்டங்களில் அளவில் பெரியவை, மாற்றநிற்புக்கு எளிதில் திரும்புகின்றன. ஆனல் மைக்ரான்[2] அளவுடைய சிறு பொருள்கள் மாற்றநிற்புக்கு மிக மெதுவாக திரும்புவதால் அவை படிவுகோளத்தில் வெகுகாலம் தங்குகின்றன. மாற்றநிற்பிற்கு அவை எவ்வாறு திரும்புகின்றன என்பது இன்னும் தெளிவாகப் புரிந்துகொள்ளப்படவில்லை. அதற்கு இரு காரணங்கள் கூறப்படுகின்றன.

காலநிலையைப் பொறுத்து மாற்றநிற்பின் உயரம் வேறுபடுகிறது. குளிர்காலத்தைவிட வேனிற்காலத்தில் அதன் உயரம் அதிகரிக்கிறது. இவ்வாருக மாற்றநிற்பின் எல்லைக்கோடுகள் மாறிக்கொண்டே இருக்கின்றன. அதனுல் படிவுகோளத்தின் அடிப்பகுதிகள் மாறுகோளத்தின் மேற்பகுதிகளோடு கலக்கின்றன. இதனுல் சிறு பொருள்கள் படிவுகோளத்திலிருந்து மாறுகோளத்திற்கு வந்துவிடுகின்றன. மேலும் படிவுகோளக் காற்று, துருவத்திற்கும், பூமத்திய ரேகைக்கும் இடையே மத்தியப் பகுதியில் உள்ள மாறுகோளத்தில் நுழைகிறது. அதன்பின் காற்று பூமத்தியரேகைப் பிரதேசங்களுள் பாய்ந்து, அங்கிருந்து திரும்பவும் படிவுகோளத்திற்கு எழும்புகிறது. இவ்வாருன சுற்ரேட்டம் சிறு பொருள்கள்கூட பூமிக்குத் திரும்பக் காரணமாகிறது. அவை 5 அல்லது 10 ஆண்டுகள் வரை படிவுகோளத்தில் தங்குவதால் காற்றுமண்டலத்தின் வெவ்வேறு மூலைகளுக்குப் பரவிவிடுகின்றன. அதன்பின் அங்கங்கு மாறுகோளத்திற்கு மெதுவாக அவை திரும்பி, பின்பு விரைவில் பூமியில் படிய ஆரம்பிக்கின்றன. இதனுல் பூமியின் ஏறக்குறைய முழுப்பரப்பிலும் புறவீழ்வு நிகழ்கிறது. பூமத்திய ரேகைப் பிரதேசங்களில் குறைவாகவும், துருவத்திற்கும் பூமத்திய

---

1. tropospheric fallout
2. micron : ஒரு சென்டிமீட்டரில் $\frac{1}{10000}$ பங்கு

ரேகைக்கும் இடையே உள்ள பகுதிகளில் அதிகமாகவும் இந்தப் புறவீழ்வு நிகழ்கிறது. மழையே இதனை பூமிக்குக் கொண்டுவருவதால் மழை குறைவான பிரதேசங்களில் இத்தகைய புறவீழ்வு குறைவாகவே படியும். ஆயுத வெடிப்பு எங்கு நிகழ்ந்தாலும் பூமியின் முழுப் பரப்பிலும் புறவீழ்வு நிகழ்வதால் இதனை உலகப் புறவீழ்வு என்பர்.

சில சமயத்தில் மாறுகோளத்தில் தங்கும் பொருள்களில் ஒரு பகுதி, அங்கு சாதாரணமாக மேற்கிலிருந்து கிழக்கு நோக்கி வீசிக்கொண்டிருக்கும் காற்று வீச்சினுல் பூமியைப் பலமுறை வேகமாகச் சுற்றி வருகிறது. இந்தச் சுற்றலுக்கு நடுநடுவே மழை, பனி போன்றவற்றின் செயலால் இந்தப் பகுதிகளினின்று கொஞ்சம் கொஞ்சமாகப் பொருள்கள் பூமிக்கு இறங்குகின்றன. இத்தகைய புறவீழ்வு, வெடிப்பு நிகழ்ந்த இடத்தின் வழியாகச் செல்லும் அட்சரேகையைச்[1] சார்ந்த பிரதேசங்களில், பூமியைச் சுற்றிப் பட்டை இட்டாற்போன்று நிகழ்கிறது. இதனை மாறுகோளப் புறவீழ்வு[2] என்பர்.

அட்டவணை 15-2 மூன்றுவகைப் புறவீழ்வுகளின் தன்மைகளையும் ஒப்பிட்டுக் காட்டுகிறது.

அட்டவணை 15-2

	உள்ளூர்ப் புறவீழ்வு	மாறுகோளப் புறவீழ்வு	உலகப் புறவீழ்வு
நிகழும் பிரதேசம்	வெடிப்பு நிகழ்ந்த இடத்தைச் சுற்றி சில நூறு மைல்கள்	அவ்விடத்தின் அட்சரேகையை ஒத்த பூமியைச் சுற்றிய பட்டையில் அமைந்த பிரதேசம்	உலகத்தின் முழுப் பரப்பு
நிகழும் கால அளவு	சில மணிகளிலிருந்து பல நாட்கள்	சில வாரங்களிலிருந்து சில மாதங்கள்	10 ஆண்டுகளில்
பங்கிடப்படும் விதம்			
காற்று வெடிப்பில்			
கிலோடன்	—	100%	—
மெகாடன்	—	10%	90%
மேற்பரப்பு வெடிப்பில்			
கிலோடன்	சுமார் 80%	30%	—
மெகாடன்	20%	30%	50%

1. latitude 2. tropospheric fall out

மேற்பரப்பு வெடிப்பில் புறவீழ்வு அதிக அளவில் நிகழும். காற்று வெடிப்பிலும் புறவீழ்வு நிகழ்கிறது. இது பொதுவாக உலகப் புறவீழ்வாக இருக்கும். வெடிப்பு, உயரத்தில் காற்றில் நிகழ்வதால் தரையில் உள்ள சுற்றுப்புறப் பொருள்கள் படிவுகோளத்திற்கு எடுத்துச் செல்லப்படுவதில்லை. எனவே புறவீழ்வில் தரையிலிருந்து கிளம்பி எடுத்துச் செல்லப்பட்ட பொருள்கள் இருக்கமாட்டாது எனலாம். தரைகீழ், நீர்கீழ் வெடிப்புக்களில் நெருப்புப்பந்து ஆகாயத்தில் எழுவதில்லை. எனவே புறவீழ்வின் அளவு குறைவாகவே இருக்கும். புறவீழ்வு வெடிப்பிடத்திற்கு அண்மைப்பகுதியில் மட்டுமே நிகழும்.

அதிசக்தி ஆயுதங்களிலும் கிலோடன் ஆயுதங்களிலும் ஏற்படும் உள்ளூர்ப் புறவீழ்வு சுமார் 10,000 சதுர மைல் வரை படரலாம். 20 மெகாடன் ஆயுத வெடிப்பில் இரண்டு நாட்களுக்குப் பின்னும், காமாக்கதிர்களின் அளவு அக்குறிப்பிட்ட பிரதேசத்தில் வாழும் உயிர்களுக்கு மரணத்தை உண்டாக்கவல்லது. பீட்டாக்கதிர்கள் தோலில் வேண்டாத விளைவுகளைத் தோற்றுவிக்க வல்லவை.

புறவீழ்வு படரும் பரப்பளவு ஆயுதத்தின் சக்தியைப் பொறுத்தது. எனவே ஆயுதத்தின் சக்தி அதிகரித்தால், புறவீழ்வு படரும் பரப்பளவு அதிகமாகிறது. இதனால் கதிர்வீச்சு அபாயமும் அதிகமாகிறது.

புறவீழ்வு நிகழும் பகுதியில் உள்ள உயிர்கள் கதிர்வீச்சு அபாயங்களுக்கு உள்ளாகின்றன. காற்று, குடிநீர், உணவுப் பண்டங்கள் முதலியவைகளில் கதிரியக்கப் பொருள்கள் படிவதால், அவற்றை உட்கொள்வதன் மூலமாக உடலுக்குள் புகுகின்றன. வெடிப்பு நிகழ்ந்த பின் சரியான பாதுகாப்பு நடவடிக்கைகளை அமுலாக்குவதன் மூலம் இத்தகைய நேரடியான உட்கிரகிப்பு அபாயங்களைத் தவிர்க்கலாம். ஆனால் தவிர்க்க முடியாத சில அபாயங்களும் உள்ளன. புறவீழ்வில் படியும் ஸ்ட்ரான்ஷியம்–90[1], ஸீஷியம்–137[2] போன்ற கதிரியக்க ஐஸோடோப்புகள் தாவரங்களால் உட்கிரகிக்கப்படுகின்றன. மேய்ச்சல் நிலங்களில் உள்ள தாவரங்களைத் தின்னும் விலங்குகளின் உடலிலும் கதிரியக்கப்பொருள்கள் செல்வதற்கும், விளைச்சல் நிலங்களில் விளையும் தானியங்களை உண்ணும் மனிதர்களின் உடலில் கதிரியக்கப் பொருள்கள் செல்வதற்கு இவை காரணமாகிவிடுகின்றன. கதிரியக்கப் பொருளைக் கிரகித்த தாவரங்களை உண்ட பசுவின் பாலில்கூட கதிரியக்கப் பொருள் இருக்கக்கூடும். இவற்றை உட்கொண்டால், இவ்வுணவுப் பொருள்களில் உள்ள கதிரியக்கப் பொருள்களின் தன்மைக்குத் தக உடற்கோளாறுகள் ஏற்படும். ஸ்ட்ரான்ஷியம்–90 ஸீஷியம்–137 போன்றவைகளின் கதிரியக்க அரை ஆயுட்காலம் மிக அதிகம். பிளவு விளைபொருளில் 5 சதவிகிதம் வரை ஸ்ட்ரான்ஷியம்–90 தோன்றுகிறது. இவை மனித உடலால் எளிதில் கிரகிக்கப்பட்டு

1. strontium-90 2. caesium-137

எலும்பில் தேங்கிவிடுகின்றன. எனவே புறவீழ்வு அபாயம் உலக மக்களுக்கு ஒரு பெரிய அபாயமே.

மார்ச் 1954-ல் அமெரிக்கா பசிபிக் பெருங்கடலில் உள்ள பிகினித் தீவில் 15 மெகாடன் பி-பி-பி ஆயுதத்தை வெடித்துச் சோதனை செய்தது. இது தரைக்கு அருகில் வெடித்ததால் தீவு முழுவதுமே தகர்த்தெறியப் பட்டு நெருப்புப் பந்துடன் இணைந்துகொண்டது. வெடிப்பிற்குப் பின் 8 மணி நேரம் கழித்து, 160 மைலுக்கு அப்பால், பலமணி நேரம் தொடர்ந்து புறவீழ்வு படியத்தொடங்கியது. இந்தக் கடற் பிர தேசத்தில் (துரதிர்ஷ்டவசமாக) இருக்க நேர்ந்த லக்கி டிராகன்[1] என்ற படகில் இருந்த ஜப்பானியச் செம்படவர்கள் அனைவரும் தூசி மழையில் நனைந்தனர். அவர்கள் அனைவரும், மிகக்கடுமையான உடற்கோளாறுகளுக்கு உள்ளாயினர். அப்படகில் வானொலித் தொடர்பாளர் சில நாட்களில் மரணமடைந்தார். இதனால் புறவீழ்வின் பேரபாயங்கள் உலகத்திற்குத் தெரியவந்தன. இதன் பின்னும் அணு ஆயுதங்களைத் தயாரிப்பதும், சோதனை செய்வதுமாகப் பல வல்லரசுகள் தங்கள் ஆயுதபலத்தைப் பறைசாற்றிக்கொண்டுதான் இருக்கின்றன. இதற்கு என் செய்வது? போர்க்காலத்திலும், சோதனைக்காகவும் வெடிக்கப்பட்ட ஆயுதங்களின் புறவீழ்வினால் ஏற்பட்டிருக்கும் விளைவு கள் இன்றுவரை அதிகமாக இல்லையெனினும் ஆயுத சோதனைகள் நடக்க நடக்க, புறவீழ்வு அபாயங்களின் அளவு அதிகரிப்பது மட்டும் நிச்சயம்.

பிணைவுக்கிரியையை மட்டுமே ஆதாரமாகக்கொண்ட ஆயுதங்களைத் தயாரிப்பதன் மூலம் புறவீழ்வு அபாயங்களைத் தவிர்க்கமுடியும்.

இதற்கு இருவழிகளில் முயற்சி செய்து பார்க்கலாம்.

(1) பிளவுபடு பொருளின் அளவை மிகவும் குறைத்து, தோன்றும் சிறிதளவு கதிரியக்கப் பொருள்களையும், கதிர்வீச்சையும், அவற்றைக் கிரகித்துவிடும் சூழ்பொருள்களைக் கொண்டு தடுத்து ஆயுதங்களை உருவாக்குதல்.

(2) பிணைவுக்கிரியையைத் தோற்றுவிக்கத் தேவையான அளப்பரிய உஷ்ணநிலையை, சாதாரண வெடி பொருள்களைக்கொண்டு ஏற்படுத்தப் புதுமுறைகளைக் கண்டுபிடித்தல்.

இவ்விரு முறைகளாலும் வெப்பக் கதிர்வீச்சையும், அதிர்ச்சியையும் பெறமுடியும். கருக்கதிர்வீச்சைக் குறைக்க முடியும். இரண்டாவது முறையில், கதிர்வீச்சு அபாயமற்ற தூய ஆயுதத்தையே தயாரித்துவிட முடியும். அதற்கான ஆராய்ச்சிகள் நடந்து கொண்டிருக்கின்றன. தூய ஆயுதங்கள் உடனடியான அழிவை மட்டுமே ஏற்படுத்தும். ஆனால் புறவீழ்வினால் உண்டாகும் கதிர்வீச்சு அபாயங்களை உலகில் ஏற்படுத்தாது. சக்தியின் அளவை வேண்டும்படி அதிகரிக்கவும்

1. The Lucky Dragon

குறைக்கவும் செய்யலாம். எதிரியின் படைத்தளம், துறைமுகம், ஆயுதக்கிடங்கு போன்றவற்றை மட்டும் பாழாக்கும்படி கருஆயுதங்களை இவ்வாறு உண்டு பண்ணமுடியும். அதன்பின் கருஆயுதங்கள் சாதாரண வெடிகுண்டுகளைப் போலவே பயன்படுத்தப்படலாம். ஏனெனில், அப்பொழுது கருஆயுதங்கள், சாதாரண வெடிகுண்டுகளைப் போல் பலமடங்கு அழிவு சக்தியை அதிர்ச்சியாலும், வெடிப்பினாலும், வெப்பத்தாலும் மட்டுமே ஏற்படுத்தும். கதிர்வீச்சு அபாயமே இருக்காது.

ஆக்கவேலைக்கு அணுஆயுதங்கள்

அணுஆயுதங்கள் அழிவுவேலைக்குப் பயன்படுத்தப்பட்டன; எனவே அணுஆயுதங்கள் என்றவுடன் அவை கொலைக்கருவிகள் என்ற எண்ணமே மக்கள் மனதில் தோன்றுகிறது. அணுஆயுதங்களை ஆக்க வேலைகளுக்கும் பயன்படுத்தலாம். அணுஆயுதங்களைப் பயன்படுத்தி ஆக்கவேலைகளைச் செய்யும் சோதனைகள் அமெரிக்கா, ரஷியா போன்ற நாடுகளில் நடந்து கொண்டிருக்கின்றன.

1957-இல் அமெரிக்காவில் லிவர்மூர்[1] என்னுமிடத்தில் உள்ள சோதனைச் சாலையின் விஞ்ஞானிகள் ஆர்வத்துடன் இத்தகைய ஆராய்ச்சிகளை முதலில் ஆரம்பித்தனர். 1957-இல் நெவாடா பாலை வெளியில் 1700 டன் ஆயுதம் ஒன்று தரைக்குக் கீழே 900 அடி ஆழத்தில் வெடிக்கப்பட்டது. இதனால் பாறைகள் பிளப்பதற்கு அணுகுண்டைப் பயன்படுத்தலாம் என்று அறிந்தனர். தவிரவும், கடினமான பாறைகள் நீர் உறிஞ்சும் தன்மையைப் பெறுவதையும் கண்டனர்.

அணுஆயுத வெடிப்பைப் பயன்படுத்தி வருங்காலத்தில் எத்தகைய ஆக்கவேலைகள் செய்யப்படலாம் என்பதற்குச் சில உதாரணங்களைக் கூறுவோம். பூமியில் பெரும் பள்ளங்கள் தோண்ட கருஆயுதங்கள் உபயோகப் படலாம். இதனால் பெருமளவு மணலையும், பாறைகளையும் மிகக் குறைந்த செலவில் எளிதில் அப்புறப்படுத்தமுடியும். எனவே பூகர்ப்பப் பொறியியல் துறையிலும்[2] இம்முறை மிகவும் பயன்படும். நாம் விரும்பியபடி பூமியின் மேற்பரப்பை மாற்றி அமைக்க வழி கிடைக்கலாம். அணுவெடிப்புக்களினால் உண்டாகும் பள்ளங்கள் ஒன்றையொன்று தழுவுவதுபோல் அமைப்பதால் செயற்கைத் துறைமுகங்களை ஏற்படுத்தலாம். கப்பல்கள் செல்லும் வகையில் ஆழமாகவும், ஒழுங்கான கரைகளை உடையனவாகவும் கால்வாய்களை அமைக்கலாம். ஆழம் குறைந்த, பாறைகள் நிறைந்த நதிகளைக்கூட நீர்ப்போக்குவரத்திற்குத் தகுந்தவாறு மாற்றி அமைக்கலாம். இதனால் நீர்ப்பயணங்களின் செலவு மற்றமுறைகளைவிட குறையும்; வாணிபம் பெருகும். மக்கள் நிறைந்த இடத்தில் தற்பொழுது இத்தகைய ஆயுதங்களைப் பயன்

1. Livermore 2. geological engineering

படுத்த முடியாவிட்டாலும், 'மக்கள் அதிகம் இல்லாத இடங்களில் இம் முறைகளை வழக்கில் கொண்டுவரலாம்.

தற்போதைய சுரங்கங்களின் மேற்பகுதியில் உள்ள நிலக்கரி, கனிப்பொருள்கள் போன்றவற்றைத் தொடர்ந்து வெட்டி எடுத்துக் கொண்டிருப்பதால் சுரங்கங்கள் மேலும் மேலும் ஆழமாகிக்கொண்டே போகின்றன. மேலும் பல கனிப்பொருள்கள் பூமிக்கு 300, 400 அடிக்குக் கீழேயே அமைந்திருக்கின்றன. தூய்மைக் கருஆயுதங்கள் மூலம் பூமியின் மேற்பரப்பு அகலமாகத் தோண்டப்படுமேயானால், சுரங்கங்கள் கூட சாதாரண பள்ளத்தாக்குகள் போலவே திகழும். கனிப்பொருள் களை வெட்டியெடுத்து, வெளிக் கொணர்வதும் மிகக் குறைந்த செலவி லேயே நடைபெறும்.

ரஷியாவில் 1957—58இல் மூன்று பெரும் வெடிப்புகளைப் பயன் படுத்தி, கால்வாய் வெட்டி, கோலோங்கோ நதியை வழி திருப்பியுள்ள னர். மற்றும் சில இடங்களில் பாலைகளைச் சோலைகளாக்கவும், மலை களைப்பிளக்கவும் பெரும் வெடிகளைப் பயன்படுத்தியுள்ளனர். அணு வெடிப்புக்களை இத்தகைய செயல்களுக்குப் பயன்படுத்தியதாக அவர் கள் கூருவிடினும், அவை பயன்பட்டிருக்கலாம் என ஊகிக்கப்படுகிறது.

மற்றும் சில செயல்களுக்கு அணுஆயுதங்கள் பயன்பட வழியிருக் கிறது. தற்போது இவை கனவாக இருந்தாலும் வெகு சீக்கிரம் நனவாக மாற இடமிருக்கிறது. பாறைகளுக்கிடையே பொதிந்திருக் கும் மண்ணெண்ணெய், உலோகக் கனிகள் போன்றவற்றைத் தகர்த்து வெளியேற்றலாம். அப்பாறைகளை நீர் புகும்வண்ணம் மாற்றவும் செய்யலாம். அதன்பின் சூடான நீரை வெகு அழுத்தத்தில் உட்செலுத்தி கனிப்பொருள்களை வெளிக்கொணரலாம்.

மேலும் அணுஆயுத வெடிப்பில் தோன்றும் அளப்பரிய வெப்பத் தைப் பயன்படுத்தி, பூமியுனுள் அமையும் பள்ளங்களிலேயே கனிப் பொருள்களை உருக்கி, உலோகங்களைப் பிரித்தெடுக்கலாம். இதனுல் உருக்கு ஆலைகளைத் தவிர்க்கமுடியும்.

கரிக்கட்டிகள் மிக அழுத்தத்திற்கும் உஷ்ணநிலைக்கும் உட்படுவ தால் வைரங்களாக மாறலாம். கருவெடிப்பில் உண்டாகும் அழுத்தமும், வெப்பமும் கரியை வைரமாக மாற்றக்கூடும். ஆகவே பூமிக்கடியில் அணுவெடிப்பின்போது, தகுந்த வண்ணம் பொருள்களை அமைப்பதன் மூலம் பெருமளவு வைரங்களை உற்பத்தி செய்யலாம். ஆயினும் வெடிப்பினுல் தோன்றும் அழுத்தங்கள் விஞடியளவே நிலைப்பதால் பெரிய வைரக்கற்கள் உற்பத்தியாகா. இருப்பினும் தோன்றும் சிறிய கற்கள் எந்திர வேலைகளுக்குப் பயன்படும்.

மற்றுமொரு கனவுத் திட்டம். பூமிக்கடியில் ஏற்படுத்தும் கரு வெடிப்பில் வெளியேறும் வெப்பத்தை உள்ளேயே கட்டுப்படுத்தி விடலாம். அதன்பின் காற்றையோ நீரையோ இவ்வெப்பத்தால் சூடாக்கி வெளிக்கொணரலாம். பின் இன்றைய வழக்குமுறையில்

உள்ளதுபோல், நீராவியையோ சூடான அழுத்தமிக்கக் காற்றையோ பயன்படுத்தி மின்சாரத்தை உண்டாக்கலாம். அவ்வப்பொழுது கரு வெடிப்புகளை நிகழ்த்துவதன்மூலம், பூமிக்கடியில் கட்டுப்படுத்திய வெப்பத்தின் அளவு குறையாவண்ணம் கவனித்துக்கொள்ளலாம்.

துறைமுகங்களை உண்டாக்குவது போலவே, நதிகளின் முகத்துவாரத்திலும், மலைகள் சூழ்ந்து நடுவே நதிபாயும் பிரதேசத்திலும் பெரிய பெரிய நீர்த்தேக்கங்களை ஏற்படுத்துவது சாத்தியமாகலாம். மேற்குத் தொடர்ச்சி மலைகளில் ஆரம்பித்து, மேற்கேயே ஓடி, அரபிக்கடலில் விழுந்து வீணுகும் சிறு சிறு நதிகளைத் திசை திருப்பி, ஓரிடத்தில் ஒன்று சேர்த்து, தக்காண பீடபூமியை நீர்வளம் நிறைந்ததாகச் செய்யலாம். பஞ்சாப் சமவெளியிலிருந்து நதிகளுக்கு கிளைகள் வெட்டி ராஜஸ்தான் பாலைவெளிக்கு நீர்பாய்ச்சலாம். பாலைவன மணல் வெளியை நீர்புகும் வண்ணம் மாற்றியமைப்பதன் மூலம், நிலத்திற்கடியில் நீரை ஊறச்செய்து, நீர்மட்டத்தை உயர்த்தலாம். இதனுல் பாலைகள் சோலைகளாக மாறும். வறட்சிப் பிரதேசங்கள் வண்டல் படிந்த விளைநிலமாக மாறும்.

சூரிய வெப்பத்தினுல் காற்றேட்டங்கள் பாதிக்கப்படுவதாலேயே பருவநிலைகள் ஏற்படுகின்றன. பருவநிலையைப்பற்றிய விவரங்களை நன்கறிந்த பிறகு, அணுவெடிப்பில் வெளியாகும் சக்தியினைக்கொண்டு காற்றேட்டங்களை மாற்றமுடியும். அச்சமயம் மனிதன் தன் விருப்பப்படி பருவநிலையை மாற்றுவது என்பது சாத்தியமாகலாம். மழை பெய்விக்க அணுவெடிப்புக்கள் பயன்படுத்தப்படலாம்; புயல்களைத் தவிர்க்கலாம். மீன்கள், தாவரங்கள், உயிரினங்களின் பயன்தரு பிறழிகளை உண்டாக்கலாம். பிறழிகள்மூலம் கொழுத்த மீன்களையும், அதிக அளவு தானியங்களையும் பழங்களையும் தரும் தாவரங்களையும், சிறந்தவகை மாடுகளையும், குதிரைகளையும் பெற வாய்ப்புக்கள் ஏற்படலாம். இதனுல் உணவுப் பிரச்சினைகள் தீர்க்கப்படலாம்.

மேற்கூறிய அனைத்தும் கற்பனைக் கண்களால் கண்ட காட்சிகளாகும். எனினும் தூய அணுஆயுதங்கள் தயாரிப்பு முறை முன்னேற முன்னேற இவை நனவாக மாறும் நாட்கள் நெருங்கத்தான் போகிறது. ஆனுல் அதற்கு முன்பு, மனிதர்களுக்குத் தீங்கை விளைவிக்கும் புறவீழ்வை உண்டாக்கும் அணுகுண்டு சோதனைகளை நிறுத்தவும், அவற்றை ஆயுதங்களாகப் போரில் பயன்படுத்தும் எண்ணத்தைத் துறக்கவும் அணுவல்லரசுகள் ஆயத்தமாக வேண்டும். இவை நிறைவேறினுல் உலகம் அணுஆயுதங்களின் மூலம் நற்பயன்களைப் பெறும் நாள் உருவாவது திண்ணம்.

REFERENCES

1. *"Nuclear Explosions and their Effects"* Publications Division, New Delhi.

2. S. GLASSTONE (ED): *"The Effects of Nuclear Weapons"* U. S. Dept. of Defense, Washington.

3. T. STONIER: *"Nuclear Disaster"* Penguin Books, Harmondsworth, Middlesex.

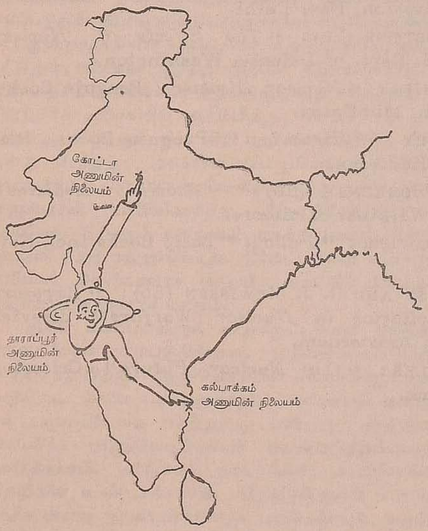
4. J. HERSEY: *"Hiroshima"* Penguin Books, Harmondsworth, Middlesex.

5. C. F. BEHRENS (ED): *"Atomic Medicine"* Williams and Wilkins, Baltimore.

6. J. M. FOWLER: *"Fallout"* Basic Books Inc., New York.

7. J. H. RUST AND D. J. MEWISSEN (ED): *"Exposure of Man to Radiation in Nuclear Warfare"* Elsevier Publishing Co., Amsterdam.

8. E. TELLER: *"Our Nuclear Future"* Criterion Books, New York.



16. நம் நாட்டில் அணுசக்தித்துறை

[எம். பி. எஸ். ரமணி, டி. கே. வரதராஜன்]

அணுவியலில் அடியெடுத்து வைத்த நாள்முதல், ஆக்க வேலைக்கே அணுவைப் பயன்படுத்துவது என்பது இந்தியாவின் கொள்கையாக இருந்து வருகிறது. 1945 முதல் டாட்டா அடிப்படை ஆராய்ச்சி நிலையத்தில்[1] அணுத்துறையில் ஆராய்ச்சி நடந்து வருகிறது. அணு சக்திச் சட்டம்[2] 1948இல் நிறைவேற்றப்பட்டது. இதுபற்றி அரசாங்கத் திற்கு ஆலோசனை கூறவும், அணுவைப் பயன்படுத்தும் திட்டங்களை

---

1. Tata Institute of Fundamental Research
2. The Atomic Energy Act, 1948

விரிவாக அமைக்கவும், அத்திட்டங்களைச் செயலாற்றவும் அணுசக்திக் கமிஷன்[1] ஒன்று இதே ஆண்டில் நிறுவப்பட்டது. இந்தக் கமிஷனின் ஆலோசனைகளின்படியே இந்தியாவின் அணுசக்தித் திட்டம் இயங்கி வருகிறது.

அணுசக்திக் கமிஷனின் பணிகள்

அணுசக்திக் கமிஷனின் பொறுப்புகளாகக் கீழ்க்காணும் பணிகள் வரையறுக்கப்பட்டுள்ளன :

(1) அணுத்துறையில் பயன்படும் கனிப்பொருள்களை[2] நாடெங்கிலும் தேடி, பிரித்தெடுத்து, உபயோகித்தல் ;

(2) எந்த எந்த வழிகளில் அணுவை ஆக்கவேலைக்குப் பயன்படுத்தலாமோ அந்த அந்த வழிகளில் விரிவான திட்டங்களை அமைத்தல் ;

(3) குறிப்பாக, அணுசக்தி கொண்டு மின்சாரத்தை உற்பத்தி செய்யும் முறைகளைச் செயலாக்குதல் ;

(4) இதற்காக அணுஉலைகளையும், இவ்வுலைகளில் பயன்படுத்தப் படும் பல்வேறு பொருள்களை உருவாக்கும் தொழிற்சாலைகளையும் நிர்மாணித்தல் ;

(5) திறமை மிக்க இந்திய விஞ்ஞானிகளுக்கு இந்தப் புதிய துறையில் பயிற்சியை அளிக்க வழி செய்தல் முதலியன.

இந்தியாவின் அணுக்கனி[3] வளம்

அணுஉலையில் எரிபொருள்களாகப் பயன்படத்தக்க பொருள்களில் யுரேனியம் மட்டுமே இயற்கையில் கிடைக்கிறது. இந்தியாவில் கேரளத்திலும், பீஹாரிலும் (ஜாதுகுடா[4]), இமாசலப் பிரதேசத்திலும் யுரேனியம் கிடைக்கிறது. ஆனாலும், கிடைப்பதாகக் கணக்கிடப்பட்டிருக்கும் யுரேனியம் குறைவுதான். பீஹாரில் கிடைக்கும் மொத்த யுரேனியத்தைக்கொண்டு 400 மெகாவாட் அணுஉலைகள் இருபதை பதினைந்து ஆண்டுகட்கு மட்டுமே இயக்கமுடியும். ஆகவே, இயற்கை யுரேனிய அணுஉலைகளை மட்டுமே ஆதாரமாகக்கொண்டு, இந்தியாவின் வருங்கால சக்தித் தேவைகளைப் பூர்த்தி செய்ய முடியாது. எனவே, வேறு எரிபொருள்களைப் பயன்படுத்தும் அணுஉலைகளை அமைப்பது அவசியமாகிறது.

இந்தியாவின் தீர்க்கதரிசன எரிபொருள் திட்டம்

இந்தியாவில் மிக அதிகமாகக் கிடைக்கும் தோரியம் என்ற உலோகத்தை அணுஉலையின் எரிபொருளாக மாற்ற இயலும். இயற்கையில்

---

1. Atomic Energy Commisson 2. minerals
3. atomic minerals 4. Jaduguda

கிடைக்கும் தோரியத்தை* அணுஉலைகளில் இட்டால் யுரேனியம்-233 உண்டாகிறது. இந்த யுரேனியம்-233ஐ வேக நியூட்ரான் அணுஉலைகளில்[1] எரிபொருளாகப் பயன்படுத்தத் திட்டமிடப்பட்டிருக்கிறது.

யுரேனிய அணுஉலைகளின் எரிபொருள் தண்டுகளில் புளூட்டோனியம்-239 உண்டாகிறது. இதைத் தனியாகப் பிரித்தெடுத்து வேறொரு வேக நியூட்ரான் அணுஉலைக்கு எரிபொருளாகப் பயன்படுத்தலாம். இந்தப் புளூட்டோனிய அணுஉலையில் இயற்கைத் தோரியத்தைப் புகுத்துவதால் யுரேனியம்-233 கிடைக்கிறது. இதை எரிபொருளாகக் கொண்டு இயங்கும் ஈனுலைகளில் தோரியம்-232ஐ இடுவதால் யுரேனியம்-233 மேலும் கிடைக்கிறது. இந்நிலையில், எரிபொருள் (யுரேனியம்-233) அழிய அழிய புதிய எரிபொருள் மேலும் மேலும் கிடைத்துக்கொண்டே இருக்கிறது.

ஆக, இந்தியாவின் நீண்டகால அணுசக்தித் திட்டம்[2] இங்கு மிகுதியாகக் கிடைக்கும் தோரியத்தை அடிப்படைப் பொருளாகக் கொண்டு அமைந்திருக்கிறது. இதன் பல படிகளை படம் 16-1 விளக்குகிறது.

இந்தியாவின் ஆய்வு அணுஉலைகள்[3]

இந்தியாவில் தற்பொழுது இயங்கி வரும் மூன்று அணுஉலைகளை அதன் நீண்டகால அணுசக்தித் திட்டத்தின் முதல் படியாகக் கருதலாம். இவ்வணுஉலைகளை இயக்குவதால் பெறும் பயிற்சியும், அநுபவமும், பின்பு அணுமின்உலைகள் திட்ட அமைப்புக்குப் பெரிதும் பயன்படும். இம்மூன்று அணுஉலைகளையும் பற்றிச் சிறிது காண்போம்.

1. **அப்ஸரா:** பார்ப்பதற்கு நீச்சல் குளத்தைப்போல் இருப்பதால் இதை நீச்சல் குள அணுஉலை[4] என்று கூறுகிறார்கள். இந்த உலை முழுக்க முழுக்க இந்திய விஞ்ஞானிகள், பொறியியல் நிபுணர்களால் உருவாக்கப்பட்டது என்பதும், ரூ. 40 லட்சம் செலவில் கட்டி முடிக்கப்பட்டது என்பதும் குறிப்பிடத்தக்கவை.

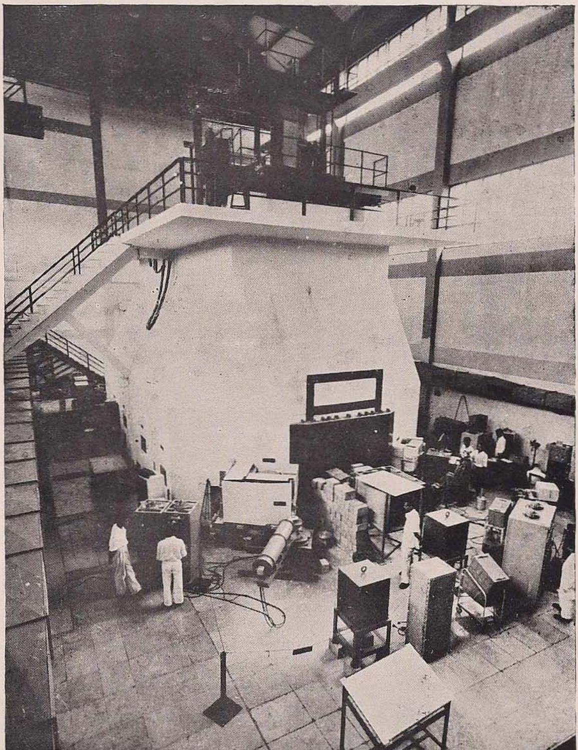
தற்பொழுது இந்த அணுஉலை, ஐஸோடோப்புகளை உற்பத்தி செய்வதற்கும், நியூட்ரான்கள் பற்றியும் நியூட்ரான்களைப் பயன்படுத்தியும் செய்யப்படும் ஆராய்ச்சிகளுக்கும் பயன்பட்டு வருகிறது.

2. **கனடா—இந்தியா அணுஉலை:** பம்பாயில் ஓர் அணு உலையை அமைக்க இந்தியாவிற்கு உதவிசெய்ய 1956-இல் கனடா முன் வந்தது. இவ்விரு நாடுகளின் கூட்டுறவின் பயனாக சுமார் 10 கோடி ரூபாய் செலவில் இந்த அணுஉலை 1960இல் கட்டி முடிக்கப்பட்டது. இந்த அணுஉலை இப்பொழுது ஸைரஸ்[5] என்று அழைக்கப்படுகிறது.

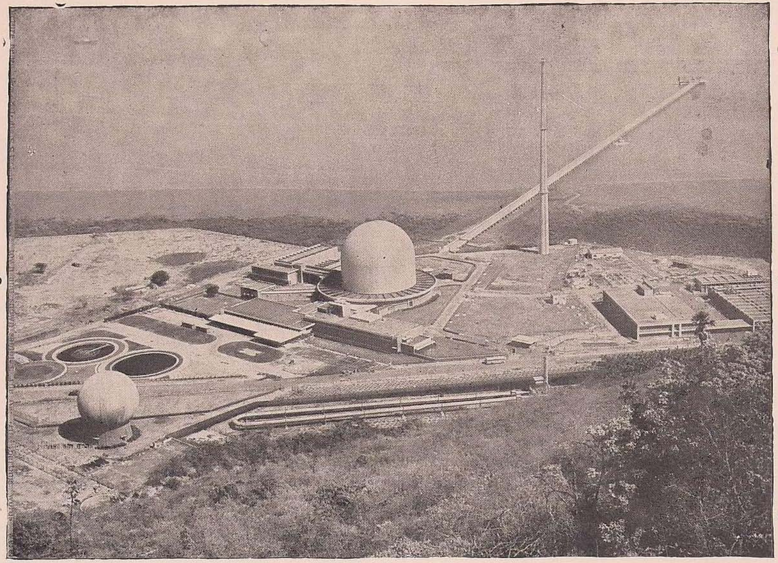
---

* இயற்கைத் தோரியத்தில் பெருமளவு இருப்பது தோரியம்–232.

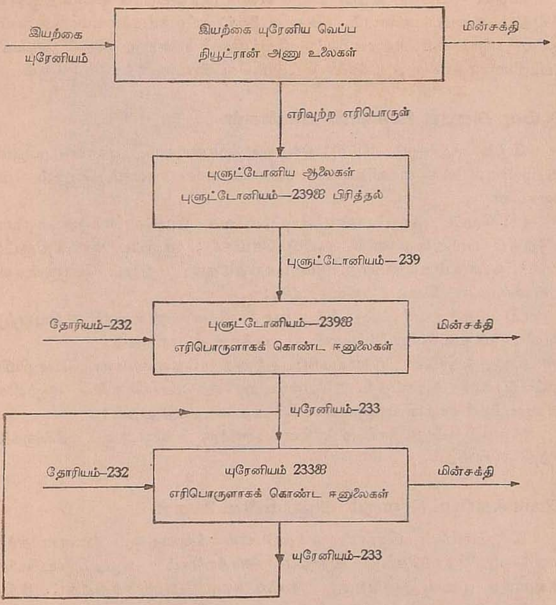
1. fast neutron reactors
2. long range atomic energy programme
3. research reactors   4. swimming pool reactor
5. cirus—Canada India Reactor and Utility Services



அப்ஸரா அணு உலை



ஸைரஸ் அணு உலை



படம் 16-1. நீண்ட கால அணுசக்தித்திட்டம்

நீண்ட அரையாயுட் காலம்[1] உடைய கோபால்ட்-60 போன்ற சில முக்கியமான ஐஸோடோப்புகளைத் தயாரிக்கவும், பிற ஐஸோடோப்பு களைப் பெருமளவில் தயாரிக்கவும் இந்த அணுஉலை பயன்படுகிறது.

3. **ஜெர்லினு அணுஉலை:** ஓர் அணுஉலை உள்ளகத்தை டிஸைன் செய்வதற்குத் தேவையான பௌதிக சம்பந்தமான பல விவரங்களைச் சோதனைகள் மூலமாகப் பெறுவதற்கு, இந்த அணுஉலை பயன்படுகிறது. வெவ்வேறு எரிபொருள்களால் ஆன பலவித எரி மூலகங்களையும், இவற்றைக் கொண்டு அமைக்கப்பட்ட பலவகை சட்டக வடிவங்களையும்[2] பற்றிய பௌதிக உண்மைகளை இந்த அணுஉலையில் ஆராய முடியும். தற்போது இது கனநீரைத் தணிப்பானாகப் பயன்படுத்துகிறது.

1. half life 2. lattice structures

இதன் பெயரே இதன் பயன்களைக் குறிப்பதாக அமைந்துள்ளது ('புதிய அமைப்புகளையும், (அணுஉலைச்) சட்டகங்களையும்[1] ஆராய்தற்குரிய பூஜ்யசக்தி அணுஉலை'). ஜெர்லினு* என்பது இதன் ஆங்கிலப் பெயரின் முதலெழுத்துக்களை மட்டும் கொண்ட சுருக்கமே ஆகும்.

ஆய்வு அணுஉலைகளின் பயன்கள்

இந்த மூன்று ஆய்வு அணுஉலைகளாலும் டிராம்பேயிலுள்ள அணுவியல் விஞ்ஞானிகளும், பொறியியலாளர்களும் பெறும் பயன்களாவன :

(1) வெப்ப நியூட்ரான்களையும், வேக நியூட்ரான்களையும் பயன்படுத்திப் பலதுறைகளில் ஆய்வு செய்தல்; குறிப்பாகக் கதிரூட்டுவதால்[2] பொருள்களில் ஏற்படும் மாறுதல்கள், மற்றும் பொருள்களின் உள்ளமைப்பு[3] இவைபற்றிய ஆய்வு;

(2) மருத்துவம், தொழில்துறை, விவசாயத்துறை ஆகியவற்றில் பயன்படும் பல்வேறு ஐஸோடோப்புகளைத் தயாரித்தல்;

(3) அணுஉலை நிர்மாணிப்பதற்குத் தேவையான பொறியியல் நுட்பங்களை ஆராய்தல். வெவ்வேறு எரிபொருள்கள், ஆற்றிகள், அணுஉலைச் சாதனங்களுடன் பரிசோதனை நடத்துதல்;

(4) கதிரூட்டுவதால் உயிரினங்களுக்கு உண்டாகும் தீங்குகளைப் பற்றி ஆராய்தல்.

அமைக்கப்பட்டு வரும் அணுமின்உலைகள்

இந்தியாவின் மின்சார சக்திப் பற்றுக்குறையை ஓரளவு தீர்த்து வைக்கும் நோக்கோடு இந்திய அரசாங்கம் அணுமின்உலை[4]களை அமைக்க முடிவு செய்தது. நீண்டகால அணுசக்தித்திட்டத்திற்கு முதற்படியாக மூன்று யுரேனிய அணுஉலைகள் பின்வரும் இடங்களில் அமைக்கப்படும்.

(1) பம்பாயிலிருந்து சுமார் 75 மைல் தொலைவிலுள்ள தாராப்பூர்[5]

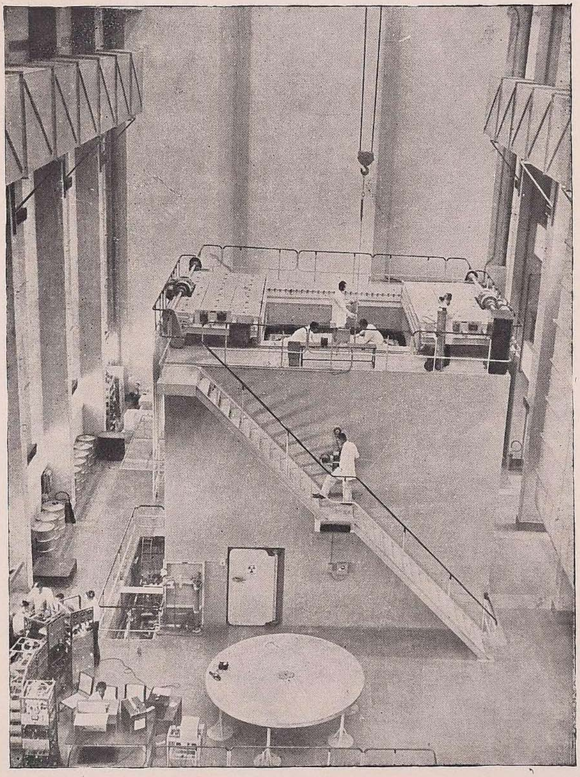
(2) ராஜஸ்தானில் கோட்டா[6] ஜில்லாவிலுள்ள ராணு ப்ரதாப் ஸாகர்[7]

(3) சென்னை மாநிலத்தில், சென்னையிலிருந்து சுமார் 40 மைலிலுள்ள கல்பாக்கம்.[8]

---

* Zerlina—Zero Energy Reactor for Lattice Investigations and New Assemblies.

1. lattices
2. irradiation
3. internal structure
4. power reactors
5. Tarapore
6. Kota
7. Rana Pratap Sagar
8. Kalpakkam



ஜெர்லினா அணு உலை

அட்டவணை 16-2

இந்தியாவின் ஆய்வு அணுஉலைகள்

	அப்ஸரா	ஸைரஸ்	ஜெர்லினு
எரிபொருள்	செழிப்பூட்டப் பட்ட[1] யுரேனியம் (செழிப்பு[2] 90%)	இயற்கை யுரேனியம்	வெவ்வேறு பொருள்கள்
தணிப்பான்	(சாதாரண) நீர்	கன நீர்	கன நீர்
ஆற்றி	நீர்	நீர் (இரண்டாவது ஆற்றி[3] கடல் நீர்)	ஆற்றி தேவை இல்லை
எதிரனுப்பி[4]	நீர்	கிராஃபைட்டு	கன நீர்
உச்சத்திறன்	1 மெகாவாட்	40 மெகாவாட்	100 வாட்
பாய்திரன்[5]			
வெப்ப நியூட்ரான் (சராசரி)	$7 \cdot 6 \times 10^{12}$	$2 \cdot 4 \times 10^{13}$	10^{7}
வேக நியூட்ரான் (சராசரி)	10^{13}	$1 \cdot 6 \times 10^{13}$	—
துவக்கம்	ஜூலை, 1955	டிஸம்பர், 1955	பிப்ரவரி, 1958
வரம்புநிலை[6] எய்துதல்	4, ஆகஸ்டு, 1956	10, ஜூலை, 1960	14, ஜனவரி, 1961
உலையின் பரிமாணம்	45 × 87 × 35 க. அடி	120 அடி விட்டம் 134 ,, உயரம் (கும்மட்டம்)	25 × 25 × 23 க. அடி
செலவு	ரூ. 40 லக்ஷம்	ரூ. 10 கோடி	ரூ. 1 கோடி

தாராப்பூர் அணுமின்நிலையம்

இம்மூன்று அணுமின் நிலையங்களிலும் முதலாவதான தாராப்பூர் அணுமின்நிலையத்தின் ஆரம்பவேலைகள் தொடங்கப்பெற்று நிர்மாண வேலையும் நடந்து வருகிறது. இதற்குச் சுமார் ரூ. 83 கோடி* செலவாகுமென்று மதிப்பிடப்படுகிறது. இந்நிலையத்திற்கான நிர்மாண ஒப்பந்தம் அகில உலக டெண்டர்[7]கள் மூலம் பரிசீலிக்கப்பட்டு, இன்டர்நாஷனல் ஜெனரல் எலக்ட்ரிக் கம்பெனி[8]க்குக் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த

* இந்நிலையத்தில் அமையவிருக்கும் இரண்டு உலைகளுக்கும் சேர்ந்து ஆகும் செலவு (நாணய மதிப்புக்குறைப்பிற்குப் பின்)

1. enriched 2. enrichment 3. secondary coolant
4. reflector 5. flux 6. criticality
7. tender 8. International General Electric Company

நிலையம் ஒவ்வொன்றும் 190 மெகாவாட் மின்திறனை அளிக்கக்கூடிய இரண்டு உலைகளைக் கொண்டதாக இருக்கும். இது 1968-ஆம் ஆண்டின் இறுதியில் இயங்கத் தொடங்குமென்று எதிர்பார்க்கப்படுகிறது. இந்த நிலையத்திலிருந்து கிடைக்கும் மின்சாரத்தை மகாராஷ்டிரமும், குஜராத்தும் பகிர்ந்து கொள்ளும்.

பிற அணுமின்நிலையங்கள்

ராணு ப்ரதாப்ஸாகரிலும், கல்பாக்கத்திலும் அமைக்கப்படவிருக்கும் அணுமின்நிலையங்கள் ஒவ்வொன்றும் இரட்டை அணு உலைகளைக் கொண்டவையாக இருக்கும். ஒவ்வோர் உலையும் 200 மெகாவாட் உச்சத்திறன் உடையதாயிருக்கும்.

ப்ரதாப்ஸாகர் அணுமின்நிலையம் கனடா நாட்டின் கூட்டுறவுடன் அமைக்கப்படும். இதற்கு சுமார் ரூ. 125 கோடி* செலவாகுமென்று மதிப்பிட்டிருக்கிறார்கள்.

அட்டவணை 16-3

இந்தியாவின் அணுமின் உலைகள்

	தாராப்பூர் (மகாராஷ்டிரா)	ராணுப்ரதாப் ஸாகர் (ராஜஸ்தான்)	கல்பாக்கம் (சென்னை)
எரிபொருள்	செழிப்பூட்டப் பட்ட யுரேனியம்	இயற்கை யுரேனியம்	இயற்கை யுரேனியம்
தணிப்பான்	நீர்	கன நீர்	கன நீர்
ஆற்றி	(சாதாரண) நீர்	கன நீர்	கன நீர்
திறன்	இரண்டு உலைகள் ஒவ்வொன்றும் 190 *MW* (*e*) உச்சத்திறன்	இரண்டு உலைகள் ஒவ்வொன்றும் 200 *MW* (*e*) உச்சத்திறன்	(ராஜஸ்தானைப் போலவே)
செலவு (மதிப்பீடு)†	சுமார் ரூ. 83 கோடி‡	சுமார் ரூ. 125 கோடி‖	சுமார் ரூ. 69 கோடி§
கட்டி முடியும் காலம் (எதிர்பார்க்கப்படுவது)	1968	1971	1971

* நாணய மதிப்புக்குறைப்பிற்குப் பின்னருள்ள மதிப்பீடு: கனநீரின் விலையும் சேர்ந்தது.

† ரூபாய் மதிப்புக் குறைப்பிற்குப் பின்னர்.

‡ இரு உலைகளுக்கும் ஆகும் செலவு.

‖ இரு உலைகளின் மொத்தச் செலவு: கனநீரின் விலையும் சேர்ந்தது.

§ முதல் உலைக்கு மட்டும் ஆகும் செலவு.

[இங்கு கொடுக்கப்பட்டுள்ள செலவு மதிப்பீடுகள் Nuclear India Vol. 5 No 11-12, July, August 1967 இதழ்களிலிருந்து எடுக்கப்பட்டுள்ளன.]

கல்பாக்கம் நிலையம் முழுவதும் இந்திய நிபுணர்களால் அமைக்கப் படும். இவ்விரண்டு மின்நிலையங்களுமே 1971ஆம் ஆண்டுக்குள் செயல்பட தொடங்குமென்று எதிர்பார்க்கப்படுகிறது.

அணு உலையைச் சார்ந்த சில நிறுவனங்கள்

இயங்கிவரும் அணுஉலைகளுக்கும் இனி அமைக்கப்படவிருக்கும் அணுஉலைகளுக்கும் தேவையான பல்வேறு பொருள்களையும் நாமே உற்பத்தி செய்தல் அவசியம் எனக்கருதி, அவ்வுற்பத்திக்காகப் பல நிறுவனங்கள் அமைக்கப்பட்டுள்ளன. அவற்றுள் சிலவற்றை இங்குக் காண்போம்.

அணுக்கனிப் பொருள் பிரிவு[1]

அணுஉலைகளில் எரிபொருளாகப் பயன்படத்தக்க பிளவுபடு பொருள்களும்[2], இவ்வகை எரிபொருள்களைத் தரவல்ல வளமுடைப் பொருள்களும்[3], எங்கெங்கே கிடைக்கின்றன என்ற விவரங்களைக் கண்டு மதிப்பிட 1950இல் அணுக்கனிப்பொருள் பிரிவு அமைக்கப் பட்டது. இந்தியாவில், தோரியம், யுரேனியம் அடங்கியுள்ள தாதுப் பொருள்கள் இந்தப் பிரிவால் கண்டு பிடிக்கப்பட்டுள்ளன.

பீஹாரில் ஜாதுகுடாவிலும், இமாசலப் பிரதேசத்திலும் யுரேனியம் கிடைக்கிறது. இந்தியாவில் கிடைக்கக்கூடிய மொத்த யுரேனியம் 39,000 டன்[4] என்று மதிப்பிடப்பட்டிருக்கிறது.

கேரளம், கன்னியாகுமாரி மாவட்டக் கடற்கரை மணலில் தோரியத்தின் தாதுவான மாேனைசைட்[5] ஏராளமாகக் கலந்துள்ளது. உலகிலேயே மிக அதிகமான தோரியம் கிடைக்கும் இடம் இதுதான் என்று கருதப்படுகிறது. ஐந்து லட்சம் டன்களுக்கும் அதிகமான தோரியம் ஆக்ஸைடு கிடைப்பதாகக் கணக்கிட்டிருக்கிறார்கள்.

பீஹார் மாகாணத்தில் ஜாதுகுடாவில் யுரேனியத்தைத் தோண்டி எடுக்க சுரங்கங்களும், இவ்வாறு எடுக்கப்பட்ட யுரேனியத்தை சுத்தி கரித்துச் தாதுக்களிலிருந்து பிரித்தெடுக்க ஒரு ஆலையும் இந்த அணுக் கனிப் பொருள் பிரிவினால் தற்பொழுது நிர்மாணிக்கப்பட்டிருக் கின்றன. ஆண்டுக்கு இந்த ஆலை 200 டன் யுரேனிய ஆக்ஸைடு உற்பத்தி செய்யும். இந்த ஆலையை நிர்மாணிக்க ரூ. 4·3 கோடி ஆகும் (நாணயமதிப்புக் குறைப்பிற்கு முன்) என மதிப்பிட்டிருக் கிறார்கள். இவ்வாறு சுத்திகரிக்கப்பட்ட யுரேனியம் அணுஉலைகளில் பயன்படத்தக்க வடிவைப் பெற டிராம்பேயில் உள்ள யுரேனிய ஆலைக்கு[6] அனுப்பப்படுகிறது.

---

1. Atomic Minerals Division 2. fissile materials
3. fertile materials 4. tonne = 1000 kg. 5. monazite
6. uranium plant

இந்திய அருமண் உலோகத் தொழிற்சாலை[1]

மானேஸைட் தாதுப்பொருளிலிருந்து தோரியத்தைப் பிரித்து எடுப்பதற்காக இந்திய அருமண் உலோகத் தொழிற்சாலை அமைக்கப் பட்டது. கேரளத்திலுள்ள ஆல்வாயில் அமைந்துள்ள இத்தொழிற்சாலை மானேஸைட்டை மட்டும் கல்லிலிருந்தும், மண்ணிலிருந்தும் பிரித் தெடுத்து பம்பாயில் (டிராம்பேயில்) அமைந்த தன் கிளைக்கு அனுப்பு கிறது. பம்பாயில் இந்த மானேஸைட்டிலிருந்து தோரியமும் யுரேனியமும் குளோரைடு அல்லது நைட்ரேட்டாக மாற்றப்பட்டுப் பிரித்தெடுக்கப்படுகின்றன.

யுரேனிய, தோரிய உலோகங்கள் தயாரிப்பு

யுரேனிய, தோரிய தாதுப்பொருள்களிலிருந்து முறையே அவற்றின் உலோகங்களைப் பிரித்தெடுக்கும் இரண்டு உலோக ஆலைகள்[2] 1959 முதலே டிராம்பே அணுசக்தி நிறுவனத்தில் அமைக்கப்பட்டு இயங்கிவருகின்றன. முந்தைய அத்தியாயங்களில் விவரிக்கப்பட்டவை போன்ற ரசாயன முறைகளால் அணுஉலைக்குத் தேவையான உயர் ரக, சுத்திகரிக்கப்பட்ட, உலோகக்கட்டிகளை இவை உண்டாக்குகின்றன.

எரிபொருள் தயாரிப்புத் தொழிற்கூடம்[3]

அணுஉலைகளுக்கான எரிபொருளைத் தயாரித்தல் ஒரு தொழில் நுணுக்கப் பகுதியென்றும், தயாரிக்கப்பட்ட எரிபொருள் அணு உலையில் பயன்படவேண்டுமானால் அது மிகத்துல்லியமாகவும் சீராகவும் அமைக்கப்பட்டிருக்கவேண்டும் என்றும் கண்டோம் (அத்தியாயம் 10). இந்தத் துறையில், டிராம்பேயிலுள்ள எரிபொருள் தயாரிப்புத் தொழிற் கூடம் 1960 முதலே தன் பணியைச் செய்து வருகிறது. 1960 பிப்ரவரியில், முதல் பத்து எரிபொருள் தண்டுகளை இந்தத் தொழிற் கூடம் வெற்றிகரமாகத் தயாரித்தது. செழிப்பூட்டப்பெற்ற யுரேனியத் தண்டுகள்* தவிர, மற்றவற்றை இந்தத் தொழிற்கூடம் அமைக்க வல்லது. இங்குத் தயாரிக்கப்பட்ட, அலுமினிய உறையிடப்பட்ட யுரேனியத் தண்டுகள் ஸைரஸ் அணுஉலையில் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. டிராம்பேயிலுள்ள ஜெர்லின அணுஉலைக்கான எரி பொருள் தண்டுகளையும் இந்தத் தொழிற்சாலையில்தான் செய்கிறார்கள்.

---

* செழிப்பூட்டப்பட்ட யுரேனியமே அப்ஸரா அணுஉலைக்கும் தாராப்பூர் அணு மின் நிலையத்திற்கும் வேண்டும் ஆதலால், இவை முறையே இங்கிலாந்திலிருந்தும், அமெரிக்காவிலிருந்தும் தற்போது தருவிக்கப்படுகின்றன.

1. Indian Rare Earths Factory 2. metallurgical plants
3. Fuel Element Fabrication Facility

இந்தியாவில் உள்ள மற்ற அணுஉலைகள் அனைத்திற்கும் இந்தத் தொழிற்கூடம் எரிபொருளைத் தயாரித்து அளிக்கவல்லது.

இத்தகைய எரிபொருள் உற்பத்திசாலை உலகிலேயே ஆறு நாடுகளில்தான் உண்டு என்பதும், அவற்றோடு இந்தியாவும் சேர்வது நமக்குப் பெருமை தரத்தக்க செய்தி என்றும் அமரர் டாக்டர் பாபா அடிக்கடி குறிப்பிடுவார்.

கனநீர் உற்பத்தி

இந்தியாவில் பஞ்சாபிலுள்ள நங்கல் செயற்கை உரத்தொழிற்சாலையில்[1] தற்போது சிறிய அளவில் கனநீர் உற்பத்தி செய்யப்படுகிறது. உர உற்பத்தியின்போது கிடைக்கும் உபபொருளிலிருந்து[2] கனநீரைப் பிரித்தெடுக்கலாம் என்று கண்டு, ஐந்தாண்டுகளாக, டிராம்பே அணுஉலைகளுக்கு வேண்டிய கனநீரில் ஒரு பகுதியை நங்கலிலிருந்து பெறுகிறார்கள். இத்தொழிற்சாலை ஆண்டிற்குச் சுமார் 15 டன் கனநீரைத் தருகிறது.

இது தவிரவும், ஒருமுறை பயன்படுத்தப்பட்ட கனநீரைச் சுத்திகரிக்க, கனநீர் புதுப்பிக்கும் ஆலை[3] ஒன்றை டிராம்பேயில் பரீட்சார்த்தமாக அமைத்து வெற்றி கண்டுள்ளார்கள்.

எனினும், இந்தியாவின் தேவைக்கான கனநீர் பெரும்பாலும் வெளிநாடுகளிலிருந்தே இறக்குமதி செய்யப்படுகிறது. இப் பற்றாக்குறையைப் போக்க, சாதாரண நீரிலிருந்து மின்பகுப்பு முறையில்[4] கனநீரைப் பெறும் தொழிற்சாலை ஒன்றை நிறுவத் திட்டம் வகுக்கப்பட்டுள்ளது. ஆண்டுக்கு சுமார் 200 டன் கனநீரை இது உற்பத்தி செய்யும்.

பிற பிரத்தியேகப் பொருள்கள்

அணுப்பொறியியல்[5] துறையில் எரிபொருள், தணிப்பான் போன்ற முக்கிய பொருள்கள் மட்டுமன்றி, ஜிர்க்கோனியம், கரிமத் திரவங்கள், கிராஃபைட்டு, பெரில்லியம் போன்ற சில பொருள்களும் பிரத்தியேக முறையில் பயன்படுகின்றன.

இப் பிரத்தியேகப் பொருள்களை உண்டாக்கும் முறைகளையும், அவற்றைப் பயன்படுத்தும் வகைகளையும் டிராம்பேயிலுள்ள உலோகவியல் பிரிவும்,[6] அணுஉலைப்பொறியியல் பிரிவும்[7] ஆராய்ந்து வருகின்றன.

---

1. Nangal Fertilizer Unit
2. by-product
3. Heavy water Polishing Plant
4. electrolysis
5. nuclear engineering
6. Metallurgy Division
7. Reactor Engineering Division

அணுஆராய்ச்சி கேந்திரத்தின் பிற பிரிவுகள்

அணுஉலைகளைத் தொடர்ந்து இயக்கி நடத்துவதும், அணுஉலைகளைக் கட்டுப்படுத்துவதற்கான பொறிகளை அமைப்பதும், இவ்வுலைகளால் விளையும் ஆபத்துக்களிலிருந்து தற்காப்பாக இருப்பதும், கழிவுப் பொருள்களைத் தக்கவகையில் அப்புறப்படுத்துவதும் ஆகியவையெல்லாம் அணுத்துறையின் மற்றப் பகுதிகள் ஆகும். இதற்காக, இந்திய அரசாங்கம் டிராம்பேயில் அணுஆராய்ச்சிக் கேந்திரத்தை[1] ஏற்படுத்தி, இத்துறைகளில் விஞ்ஞானிகளுக்குத் தேவையான பயிற்சியை இந்தியாவிலும், தேவையானால் வெளிநாடுகளுக்கு அனுப்பியும் அளித்து வருகிறது.

அணுஉலை இயக்கும் பிரிவு[2]

சீராகவும், விபத்தில்லாமலும், வேண்டிய திறன் மட்டத்திலும் அணுஉலைகளை இயக்கப் பயிற்சி பெற்றவர்களைக் கொண்ட இப்பிரிவு டிராம்பேயில் நல்ல பணிபுரிந்து வருகிறது. அப்ஸரா அணுஉலையில் அண்மையில் புதிய எரிபொருள் தண்டுகளைப் புகுத்தியதும், அப்ஸரா அணுஉலையிலிருந்த சிறிய சீர்கேடுகளைத் திருத்தி அமைத்ததும், ஸைரஸில் இருந்த சில முக்கியக் குறைபாடுகளைக் களைந்து அதை உச்சத்திறன் மட்டமான 40 மெகாவாட்டில் முதன் முறையாக இயக்கியதும் இப்பிரிவின் முக்கிய சாதனைகளாகும்.

எலக்ட்ரானியல் பிரிவு[3]

அணுஉலைக் கட்டுப்பாடு[4] பெரும்பாலும் எலக்ட்ரானியலை அடிப்படையாகக் கொண்டது. மிகவும் நம்பகமானவையும், நுணுக்கமானவையும் ஆன அளவு கருவிகளும், கட்டுப்பாட்டு அமைப்புக்களும்[5] அணுஉலைக்குத் தேவை. இவற்றை அமைப்பதில் முதலிலிருந்து (1955) டிராம்பேயிலுள்ள எலக்ட்ரானியல் பிரிவு உதவி வருகிறது. அப்ஸரா, ஜெர்லினா அணுஉலைகளுக்கான கட்டுப்பாட்டு அமைப்புக்கள் அத்தனையும் இப்பிரிவால் நிறுவப்பட்டவை என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

இப்பிரிவு, தற்போது இவ்வமைப்புக்களைக் கட்டுவது மட்டுமன்றி அவற்றிற்கான எலக்ட்ரானியற் கூறுகளை[6]யும், தேவையான அளவு கருவிகளையும் இந்தியாவிலேயே உற்பத்தி செய்ய முயன்று வருகிறது. உதாரணமாக, கதிர்வீச்சை அளக்கவல்ல எண்ணிகளும், அளவுமானிகளும் இந்தியாவிலேயே தயாரிக்கப்படுகின்றன.

---

1. (Bhabha) Atomic Research centre
2. Reactor Operations Division
3. Electronics Division
4. reactor control
5. control systems
6. electronic components

எலக்ட்ரானியல் கருவிகள் தயாரிப்பு

எலக்ட்ரானிக் கார்ப்பரேஷன் ஆஃப் இந்தியா[1]

அணுஉலைகளுக்கும், அணுவியல் சம்பந்தப்பட்ட சோதனைகளுக்கும், ஆராய்ச்சிகளுக்கும் எண்ணிகள்[2], கணக்கீட்டு கருவிகள்[3] போன்ற பல பிரத்தியேக எலக்ட்ரானியல் கருவிகள் அவசியமாகும். நாடெங்கிலும் பெருகி வரும் இக் கருவிகளுக்கான தேவையையும், விரைவாகச் செயலாற்றப்பட்டு வரும் அணுசக்தித் திட்டங்களின் எலக்ட்ரானியல் தேவைகளையும் பூர்த்தி செய்யும் பொருட்டு எலட்க்ரானிக் கார்ப்பரேஷன் ஆஃப் இந்தியா என்ற ஸ்தாபனம் அண்மையில் நிறுவப்பட்டுள்ளது. இங்கு செய்யப்படும் சில கருவிகளாவன :

கைகர்—மல்லர் எண்ணிகள், அயனி அறைவகை ஸர்வேமானிகள், ஒளிர் எண் கருவி அமைப்புக்கள், படி தூசிமானிகள், ஆஸில்லோஸ் கோப்புகள்[4], pH-மானிகள்[5] ஸ்பெக்ட்ரா மீட்டர்கள்[6] முதலியன.

டாக்டர் பாபாவைத் தலைவராகக் கொண்ட இந்திய எலக்ட்ரானியல் கமிட்டி[7] சமர்ப்பித்த அறிக்கை கூறுவதாவது :

“அண்மை எதிர்காலத்தில் இந்தியாவில் எலக்ட்ரானியற் கருவிகளின் தேவை பல மடங்காகப் பெருகும். இந்த அதிகப்பட்ட தேவையைப் பூர்த்தி செய்ய வேண்டுமானால், இந்தியாவில் எலக்ட்ரானியற் கூறுகள் பெருவாரியாக உற்பத்தி செய்யப்படவேண்டும். நவீன காலத்திற்குத் தேவையான அவ்வளவு கூறுகளையும் இந்தியா சொந்தப் பொருள்களைக் கொண்டே செய்ய இயலும் ; தனியாரோ, அரசாங்கமோ, கூட்டாகவோ இவற்றைப் பெருவாரியாகத் தயாரிப்பதற்கு அரசாங்கம் வழி வகைகள் செய்யவேண்டும்.”

இந்த நோக்கத்தோடு டிராம்பேயில், கார்பன் மின்தடைகளும்[8], சில முக்கியமான டிரான்ஸிஸ்டர்களும்[9], டயோடுகளும்[10], அதிக மின்னமுத்தம் தாங்கக் கூடிய மின்மாற்றிகளும்[11], சிறிய அளவில் மின்சுற்றுப் பொறிப்புகளைத்[12] தயாரிக்கும் சாதனங்களும் உற்பத்தி செய்யும் வேலை தொடங்கப்பட்டது*. இவற்றுள், டிராம்பேயில் தயாரிக்கப்பட்ட மின்தடைகள் இந்தியத் தரச் சீரமைப்பு ஸ்தாபனத்தால்[13] அங்கீகரிக்கப்பட்டவை என்பதும், அவை உயர்ந்த ரகத்தைச் சேர்ந்தவையாகக் கருதப்படுகின்றன என்பதும் குறிப்பிடத்தக்கவை.

---

* தற்பொழுது இந்த உற்பத்தி வேலையை, ஹைதராபாத்தில் உள்ள எலக்ட்ரானிக் கார்ப்பரேஷன் ஆஃப் இந்தியா மேற்கொண்டுள்ளது.

1. Electronic Corporation of India
2. counters 3. scalers 4. oscilloscopes 5. pH meters
6. spectrometers 7. Indian Electronics Committee
8. carbon resistors 9, transistors
10. diodes 11. transformers
12. printed circuits 13. Indian Standards Institution

உயிரியல் பிரிவு[1]

எக்ஸ்-கதிர் எந்திரங்களி[66]லிருந்தும், ஐஸோடோப்புகளினின்றும், அணுஉலைகளிலிருந்தும் பெறும் கதிர்வீச்சைப் பயன்படுத்தி, கதிர்வீச்சால் உயிரினங்களில் விளையும் மாறுதல்களைப் பற்றிய ஆராய்ச்சிகளை டிராம்பே அணுஆராய்ச்சி கேந்திரத்தின் ஓர் அங்கமான உயிரியல் பிரிவு நடத்தி வருகிறது. இதுவரை ஆராயப்பட்டு வரும் துறைகளில் சில :

(1) கதிரூட்டப்பட்ட விதைகளைக் கொண்டு, தரமுள்ள அதிக விளைவைப் பெறுதல் ;

(2) உணவுப் பொருள்களைக் கதிர்வீச்சுக்கு உள்ளாக்கி அவை வெகு நாள் வரை கெடாமல் பாதுகாத்து வைத்தல் ;

(3) பேரளவான கதிர்வீச்சினுல் கிருமி நீக்கம்[2] செய்தல் ;

(4) பயிர்களுக்குக் கதிர்வீச்சை அளவிட்டுக் கொடுத்து, அனுகூலமான பண்பகப் பிறழ்ச்சிகளை[3]க் கண்டு, சிறந்த பயிர்வகைகளை வளர்த்தல்.

காமாத் தோட்டம்[4]

காமாத் தோட்டம் என்பது விவசாயத் துறை[5]யில் கதிர்வீச்சைப் பயன்படுத்திப் பயன்பெறுவதற்கென அமைக்கப்படும் ஒரு சோதனை வேளாண்மை நிலமாகும். உயிரியல் பிரிவின் வேலைகளுள் கடைசியாகக் கூறிய பயிரியல்[6] சோதனைகளைப் பெரிய அளவிலும், விவசாய வளர்ச்சிக்குப் பயன்படத்தக்க வகையிலும் செய்தற் பொருட்டு டிராம்பேயில் காமாத் தோட்டம் ஒன்று 1963இல் அமைக்கப்பட்டது. இங்கே பயிர்கள் கதிர்வீச்சுச் சூழ்நிலையில் வளர்க்கப்படுகின்றன. இங்கு வளரும் பயிர்கள் சுமார் 500 க்யூரி அளவான கோபால்ட்-60லிருந்து வெளியாகும் காமாக் கதிர்வீச்சுக்கு உள்ளாக்கப்படுகின்றன. இதனுல் பயிர்களில் ஏற்படும் பண்பகப் பிறழ்ச்சிகளை உயிரியலாளர் சோதித்து, மிகுந்த பயன்தரத்தக்க இனவகைகளைத் தேர்ந்தெடுத்து, மேலும் பயிரிடுகின்றனர். இவ்வாறு, இதுவரை நெல், கோதுமை, கடலை, உருளைக்கிழங்கு, வெங்காயம் முதலிய பல பயிர் வகைகளிலும் பயன்கண்டுள்ளார்கள். இவற்றுள் சிலவற்றில் விளைச்சல் முன்னிலும் இரு மடங்காகக்கூட இருப்பதைக் கண்டுள்ளார்கள்.

கழிவுப் பொருள் கையாளும் பிரிவு[7]

அணுவுலைகளிலும், கதிரியக்கப் பொருள்களைத் தயாரிக்கும் இடங்களிலும், அவற்றைக் கையாளும் இடங்களிலும் உண்டாகும் கழிவுப்

---

1. Biology Division 2. sterilization 3. mutations
4. gamma garden 5, 6 agriculture
7. Waste Treatment Division

பொருள்கள் கதிரியக்கம் உள்ளவையாக இருக்கக் கூடும். இக்கதிரியக்கப் பொருள்களை, பிற கழிவுப் பொருள்களைப் போல் சாதாரண முறைகளில் அப்புறப்படுத்துவது (மக்களுக்கும், உயிரினங்களுக்கும்) தீங்காக முடியலாம். ஆகவே இவற்றை ஊறில்லாப் பிரத்தியேக முறையில் அப்புறப்படுத்த வேண்டும். இந்தப் பொறுப்பை கழிவுப் பொருள் கையாளும் பிரிவு ஏற்றிருக்கிறது. இதன் பணிகளாவன: (1) அணுஉலைகள், புளுட்டோனிய ஆலை போன்ற இடங்களில் உண்டாகும் கதிரியக்கக் கழிவுப் பொருள்களை அங்கங்கே சென்று திரட்டி, தக்க முறையில் அகற்றுதல்; (2) கதிரியக்கம் கையாளப்படும் பிற இடங்களிலிருந்து திட, திரவ கதிரியக்கக் கழிவுப் பொருள்கள் அனுப்பப்பட்டால் அவற்றை உரிய முறையில் அப்புறப்படுத்துதல்; (3) கதிரியக்கப் பொருள்களைக் கையாள்வோர் அணியும் உடைகளைப் பிரத்தியேக சலவைச்சாலையில் வெளுத்துத் திருப்பி அனுப்புதல் முதலியன.

கதிரியக்கக் காப்புப் பிரிவு[1]

கதிரியக்கமோ, கதிர்வீச்சோ பயன்படுத்தப்படும் பணிகளிலெல்லாம், அவற்றால் தீங்கு விளையாமலிருக்க, தற்காப்பு முறைகளை அமைத்துத் தருவது இப்பிரிவின் பொறுப்பாகும். அதன் சில பணிகளாவன.

(1) அணுஉலை அமைப்பதற்கு முன்னமேயே, அது அமைதற்குரிய தக்க இடத்தைத் தேர்ந்தெடுப்பதில் உதவி செய்தல்;

(2) அணுஉலை கட்டப்படும்போது அதன் தற்காப்பு முறைகள் சீராக அமைக்கப்பட ஆலோசனை கூறுதல்;

(3) அணுஉலைகளிலும், கதிரியக்கம் பயன்படும் பிற நிறுவனங்களிலும், தற்காப்பு முறைகளைச் செயற்படுத்துதல்;

(4) நாடெங்கிலும் புறவீழ்வின்[2] அளவை மதிப்பிடுதல்.

(5) நாடெங்கும் கதிர்வீச்சைப் பயன்படுத்துவோர் அனைவருக்கும்—குறிப்பாக எக்ஸ் கதிர்களை உபயோகிக்கும் ஆஸ்பத்திரிகளுக்கு தற்காப்பு முறைகளை உணர்த்துதலும், அவர்கள் பெறும் கதிர்வீச்சு அளவைக் கண்காணித்தலும்.

இவை தவிரவும், திடீர் விபத்துக்களும், அதனால் கதிரியக்கத் தீங்குகளும் ஏற்படுங்கால் கைக்கொள்ள வேண்டிய தற்காப்பு முறைகளை அனுஷ்டிக்க உதவி செய்வதற்காக, ஓர் அவசர நிலைக் கேந்திரம்[3] அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. அவசர நிலையில் மேற்கொள்ள வேண்டிய எச்சரிக்கை முறைகளில் சம்பந்தப்பட்டோரைப் பயில்வித்தல் அவசர நிலை ஏற்பட்டால் அதை அறிவித்தல் முதலியன இதன் பணிகளாகும்.

---

1. Health Physics Division   2. fallout
3. Central Emergency Post

தொழில் நுட்ப பௌதிகம்[1]

டிராம்பே நிறுவனத்தின் பல பிரிவுகளுக்கெல்லாம் தேவையான போது தொழில் நுட்ப வேலைகள் செய்துதருவது இப்பிரிவின் பொறுப்பாகும். இது தவிரவும் தான் பெற்ற தொழில் நுணுக்க அநுபவத்தால், மிகவும் பயனுள்ள சில சாதனங்களையும் தயாரிக்கும் சாதனையை இப்பிரிவு செய்துள்ளது.

அவற்றுட் சில :

(1) மிக உயர்தரமான வெற்றிடம் உண்டாக்கும் வெற்றிடப் பம்ப்புகள்[2], வெற்றிட மானிகள்[3] தயாரித்தது ;

(2) பத்தாயிரம் டிகிரிக்கும் மேலான மிக அதிக உஷ்ண நிலையை ஏற்படுத்தவல்ல நவீன காலக் கருவியான பிளாஸ்மா † டார்ச்சு[4] தயாரித்தது.

(3) ஆய்வுகளில் பயன்படும் ஒளிர் எண் கருவிகளின்[5] முக்கிய பகுதியான ஒளிரிகள்[6] தயாரித்தது ;

(4) உணவுப் பொருள்கள், ரத்தப் பிளாஸ்மா†[7] போன்றவற்றையெல்லாம் வெகு நாட்களுக்கு தரம் கெடாமலும், தன்மை மாறுமலும் பாதுகாத்து வைக்கக்கூடிய உறைவித்து உலர்த்தும் அமைப்புக்கள்[8] தயாரித்தது முதலியன.

கருபௌதிகம் பிரிவு[9]

ஆய்வு அணுஉலகளை அணு பௌதிக ஆராய்ச்சிக்குப் பயன்படுத்தும் அணு பௌதிகப் பிரிவு தற்போது நியூட்ரானைப் பற்றிய ஆராய்ச்சிகளில் முன்னேற்றம் பெற்றிருக்கிறது. குறிப்பிடத்தக்கவையாக,

(1) நியூட்ரான் ஸ்பெக்ட்ரா மீட்டர்களை‡[10] அமைத்தது ;

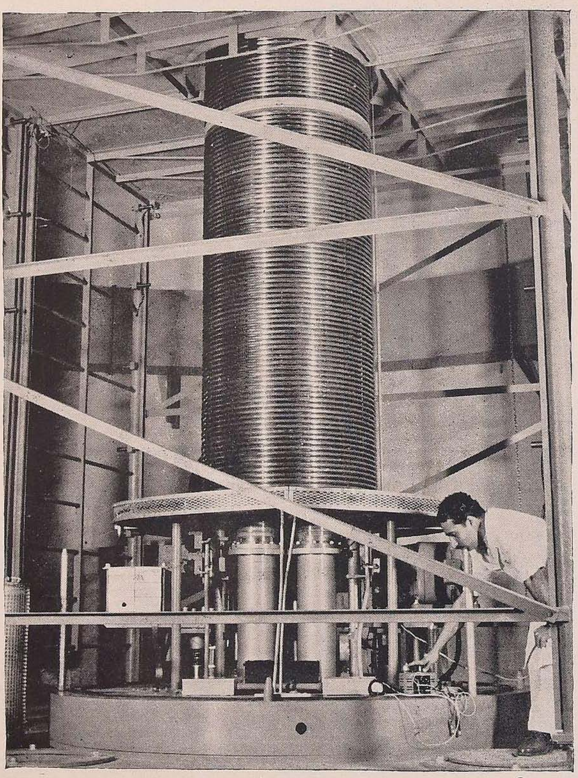
(2) அணுப்பிளவை விளக்கும் பல்வேறு கோட்பாடுகளை[11] அறிந்து, அவற்றினும் சிறிது முன்னேறியதாகக் கருதப்படும் ஒரு கொள்கையை விளக்கியது*,

† இவ்விரண்டு பிளாஸ்மாக்களும் வெவ்வேறு பொருளுடையவை.

‡ இத்தகைய கருவிகள் ஒரு நியூட்ரான் கற்றை[86]யிலுள்ள நியூட்ரான்களை வேக (அல்லது சக்தி) வாரியாகப் பிரித்தறியும். இதுபோன்ற கருவிகளை அமைக்க பிலிப்பைன்ஸ் போன்ற பிறநாடுகளும் இந்தியாவின் ஆலோசனையை நாடியுள்ளன.

* இது அண்மையில் S. S. பட்னுகர் பரிசைப் பெற்ற டாக்டர் ஆர். ராமண்ணு என்பவரால் வெளியிடப்பட்டது—புள்ளியியற் கணித முறைகளை[87] ஆதாரமாகக் கொண்டது.

1. Technical Physics Division
2. high vacuum pumps
3. vacuum gauges
4. plasma torch
5. scintillation counters
6. scintillators
7. blood plasma
8. freeze-drying units
9. Neclear Physics division
10. neutron spectrometer
11. theories



வான்-டி-கிராஃப் வேகவளர்த்தி

வான்–டி–கிராஃப் வேக வளர்ச்சி சாதனம்[1]

ஆராய்ச்சிகளுக்குப் பயன்படும்படியாக அடிப்படைத் துகள்களை வேண்டிய அளவு வேகத்துடன் பெறும்பொருட்டு இச்சாதனம் 1962இல் டிராம்பேயில் அமைக்கப்பட்டு இயங்கி வருகிறது. இது துகள்களின் வேகத்தை அதிகரிக்கச் செய்து, உச்சபட்சமாக 5·5 மி.எ.வோ வரை சக்தி உடையனவாகச் செய்யமுடியும்.

ரசாயனப் பிரிவுகள்

அணுசக்தி நிறுவனத்தில் பகுப்பு ரசாயனம்[2], கதிரியக்க ரசாயனம்[3] போன்ற ரசாயனத் துறைகளிலும் ஆராய்ச்சிப் பணிகள் நடந்து வருகின்றன.

டிராம்பேயில் புளூட்டோனிய உற்பத்தி

அணு உலைகளில் எரிக்கப்பட்ட எரிபொருள்களில் பிளவு வினை பொருள்களோடு, புளூட்டோனியம்–239ம் அடங்கியிருக்கும் என்றறிவோம். இதனை (வேக நியூட்ரான் உலைகளிலும், ஈனுலைகளிலும்) எரிபொருளாகப் பயன்படுத்துவதற்கு முன்னர், தனியாகப் பிரித்தெடுக்கவேண்டும்.* இதன் முதற்படி, எரிக்கப்பட்ட எரிபொருள் தண்டுகளின் உறைகளை அகற்றி, தண்டுகளை தக்க கரைப்பான்களிலிட்டுக் கரைத்தல் வேண்டுமென்று அறிவோம் (அத்தியாயம் 10). பின்னர் புளூட்டோனியத்தைப் பிரித்தெடுக்கும் ரசாயனச் செய்முறைகளோ[4] மிகச் சிக்கலானவை. அன்றியும், புளூட்டோனியம் மிகவும் அபாயகரமானதால் அதைப் பிரித்தெடுக்கும் பணிகளின்போதெல்லாம் தக்க பாதுகாப்பு முறைகளும் கையாளப்பட வேண்டும்.

இத்தகைய புளூட்டோனிய ஆலை[5] டிராம்பேயில் 22–1–1965இல் காலஞ்சென்ற பிரதமர் லால் பகதூர் சாஸ்திரியால் திறந்து வைக்கப்பட்டது. வருங்காலத்தில் அணுமின்நிலையங்கள் இயங்குங்கால் கிடைக்கவிருக்கும் அதிக அளவு புளூட்டோனியத்தைப் பிரித்தெடுப்பதற்காக இதனினும் பெரிய ஆலையொன்றை நிறுவத் திட்டமிட்டிருக்கின்றனர்.

---

*அணுகுண்டு செய்வதற்கு புளூட்டோனியம் இன்றியமையாதது என்பதை அறிவோம்.

1. van-de-graff accelerator
2. analytical chemistry
3. radiochemistry
4. chemical processes
5. plutonium plant

புளூட்டோனியத்தைப் பிரித்தெடுக்கும் இத்தகைய ஆலைகள் உலகிலேயே நாலைந்து நாடுகளில்தான் இருக்கின்றன என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

ஐஸோடோப்பு உற்பத்தி

இயங்கிவரும் அணுஉலைகளுள் அப்ஸரா, ஸைரஸ் இரண்டிலும் தற்பொழுது பெருவாரியான ஐஸோடோப்புகள் தயாரிக்கப்பட்டு வருகின்றன. அணுமின்னுலைகள் இயங்கும்பொழுதோ, இவைகளின் உற்பத்தி அதிகமாகப் பெருகும்.

டிராம்பேயிலுள்ள ஐஸோடோப்புப் பிரிவு[1] ஐஸோடோப்பைப் பயன்படுத்துவோருக்கெல்லாம் தேவையான ஐஸோடோப்புகளை உலைகளில் தயாரித்து, உபயோகத்திற்குத் தக்க பௌதிக, ரசாயன வடிவங்களில் ஆக்கி, வழங்கி வருகிறது. ஏறக்குறைய 200 வகையான ஐஸோடோப்புகளை இந்தப் பிரிவு தயாராக்குகிறது. மிகப் பெரிய அளவான கதிரியக்கம் தேவையுள்ள கோபால்ட் சிகிச்சை எந்திரங்களும், பிளவு விளைபொருள்களைப் பகுத்தெடுப்பதால் கிடைக்கக்கூடிய ஸீஷியம்-137[2] போன்றவையும் தவிர அநேகமாக மற்ற எல்லா ஐஸோடோப்புகளையும் தேவையான அடர்வில்[3] தயாரிக்க இயல்வதால் நம் நாட்டுத் தேவைகளைப் பூர்த்தி செய்வது மட்டுமன்றி இலங்கை, பிரான்ஸ், பர்மா, கொரியா, ஆப்பிரிக்க நாடுகள் முதலிய பிறதேசங்களுக்கும் நாம் ஐஸோடோப்புகளை ஏற்றுமதி செய்யும் நிலையிலிருக்கிறோம். இது வரை இப்பிரிவு சுமார் ஒரு லட்சம் ரூபாய் மதிப்புள்ள ஐஸோடோப்புகளை ஏற்றுமதி செய்திருக்கிறது.

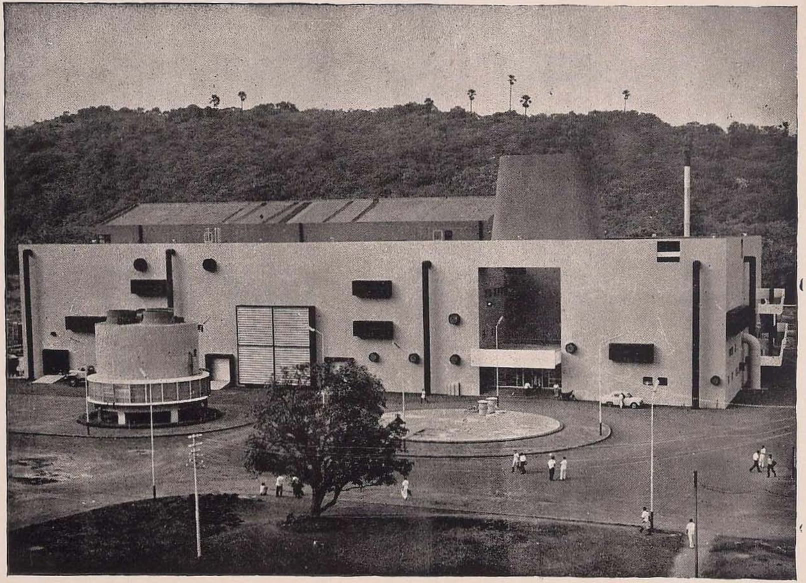
டாட்டா அடிப்படை ஆராய்ச்சி நிலையம்

1945இல் பம்பாயில் நிறுவப்பட்ட இந்த நிலையத்தில் விஞ்ஞானத் துறையின்—குறிப்பாக பௌதிக, கணிதத் துறைகளின்—அடிப்படையான விஷயங்களைப்பற்றிய ஆராய்ச்சி நடந்து வருகிறது. சிறு குழுவாகத் தொடங்கிய இது, கடந்த இருபது ஆண்டுகளில் சுமார் ஆயிரம் பேர்களைக்கொண்ட பெரும் ஆராய்ச்சிக் கேந்திரமாகத் திகழ்கிறது. தற்போது இங்கு நடந்துவரும் ஆராய்ச்சித் துறைகளில் மிக முக்கியமானவை :

1. அண்டக்கதிர் ஆராய்ச்சி[4]
2. பூகர்ப்பவியல்[5]
3. அணு பௌதிகம்
4. கோட்பாட்டு பௌதிகம்[6]

---

1. Isotope Division 2. caesium-137 3. strength
4. cosmic ray research 5. geology
6. theoretical physics



டிராம்பேயிலுள்ள புளுட்டோனிய ஆலை

5. திடநிலை பௌதிகம்[1]
6. கணிதம்
7. மூலக்கூற்று உயிரியல்[2]
8. ரேடியோ வானவியல்[3] முதலியன.

அண்மையில் (1964) இந்நிலையத்தில், மிகச் சிக்கலான கணக்கீடுகளையும் மிக விரைவில் செய்து தரக்கூடிய சம்ப்யூட்டர்* ஒன்று நிறுவப்பட்டுள்ளது. டாட்டா நிலையத்திற்கும், அணுஆராய்ச்சி கேந்திரத்திற்கும் மட்டுமன்றி, நாடெங்கும் உள்ள ஆராய்ச்சியாளர்களுக்கெல்லாம் இதைப் பயன்படுத்த வசதி செய்து கொடுக்கப்படுகின்றது.

டாட்டா மெமோரியல் மருத்துவமனையும்[4] கதிர்மருத்துவக்கேந்திரமும்[5]

இவ்விரண்டு ஸ்தாபனங்களுமே பம்பாயில் அமைந்துள்ளன. பலகாலமாகவே நடந்துவரும் டாட்டா மெமோரியல் ஆஸ்பத்திரி புற்றுநோயைத் தணிக்கும் வகையில் கதிர்வீச்சைப் பயன்படுத்தும் ஒரு பிரிவைக் கொண்டுள்ளது. கதிர் மருத்துவக் கேந்திரமோ புற்றுநோய் மட்டுமன்றி, பிற முறைகளால் கண்டறிய முடியாத மற்ற நோய்களையும் கதிரியக்கப் பொருள்களால் கண்டுபிடிக்கவும், அவற்றைத் தீர்க்கவும், உரிய முறைகளைக் கையாண்டு வருகிறது. 1962 முதல் இவை அணுசக்தி இலாகாவின் நேரடிப் பராமரிப்பில் இருந்து வருகின்றன.

அதிஉயர ஆராய்ச்சி நிலையம்[6]

அண்மையில் (1963) காஷ்மீரத்திலுள்ள குல்மார்கில் அமைக்கப்பட்டுள்ள இந்த நிலையம், முக்கியமாக, அதிக உயரத்தில் அண்டக்கதிர்களின் தீவிரத்தை[7] முறையாக அளக்கும். 8500 அடி உயரத்தில்

---

* கம்ப்யூட்டர் என்பது எலக்ட்ரானியலின் தற்கால அதிசயப் பொறிகளில் ஒன்று. இது ஒரு கணக்கீடு எந்திரமாகும். சிக்கலான கணக்குகளை எல்லாம் மிக விரைவில் இது செய்து முடிக்கும். உதாரணமாக, ஒரு மூன்று ஸ்தான பெருக்கலைச் செய்ய நமக்கு சுமார் பதினாறு செகண்டுகள் பிடிக்கும். ஒரு கணக்கில் இதைப்போல் ஒரு கோடிப் பெருக்கல்களைச் செய்யவேண்டி இருப்பதாகக் கொள்வோம். ஒருவன் ஓய்வேயில்லாது, ஒரு நாளைக்கு 24 மணி நேரம் வீதம் வேலை செய்தால்கூட இதைச் செய்து முடிக்க சுமார் 5 வருடங்கள் ஆகும். இதே கணக்கை கம்ப்யூட்டரோ, (சுமார்) ஒரே நிமிஷத்தில் செய்து முடிக்கும். மற்றும் கம்ப்யூட்டரின் விடை பிழையின்றியும் இருக்கும்.

1. solid state physics
2. molecular biology
3. radio astronomy
4. Tata Memorial Hospital
5. Radiation Medicine Centre
6. High Altitude Laboratory, Gulmarg
7. intensity

அமைந்துள்ள இந்நிலையத்தில் செய்யப்படும் சோதனைகளால், அவ்வுயரத்தில் நிகழும் அண்டக்கதிர் விளைவுகளும், காலத்தாலும், பருவத்தாலும் அண்டக்கதிரின் தீவிரத்தில் விளையும் மாற்றங்களும், விளக்கம் பெறும். இங்கு நடத்தக்கூடிய பிற ஆராய்ச்சிகள் :

(1) அயனி மண்டல[1] ஆராய்ச்சி

(2) வான பௌதிகம்[2]

(3) அதி உயரத்தில் எந்திரங்களில் ஏற்படும் மாறுதல்கள்

(4) அதி உயரம் காரணமாகப் பயிர்கள், உயிர் இனங்களில் ஏற்படும் மாறுதல்கள் முதலியன.

புறவீழ்வுக் கண்டுபிடிப்பு நிலையங்கள்[3]

நாடெங்கும் வெவ்வேறிடங்களில் புறவீழ்வைக் கண்டுபிடிக்கும் பொருட்டு அணு ஆராய்ச்சி கேந்திரம் பல சிறு நிலையங்களை அமைத்துள்ளது. இங்கு மழை நீரையும், புல்போன்ற தாவரப் பொருள்களையும் சேகரித்து, 'பகுத்தல்' மூலம் புறவீழ்வை அளக்கிறார்கள். இவை பங்களூர், பம்பாய், கல்கத்தா, டில்லி, நாகபுரி, உதகமண்டலம், குல்மார்க், நைனிடால், ஸிக்கிம் நாட்டிலுள்ள காங்டாக் என்னுமிடங்களில் அமைந்துள்ளன.

அணுகுண்டு வெடிப்பு உளவு நிலையம்

அணுகுண்டு உலகில் எங்கு வெடிக்கப்பட்டாலும் அதைக் கண்டுபிடிக்க இருவகை உளவு முறைகள் உண்டு. முதலாவது, சந்தேகமுள்ள இடங்களுக்கும், நாடுகளுக்கும் ஐந்தாம் படை அனுப்பி விவரம் சேகரித்தல். இதுதான் சாதாரணமாக உளவு என்றும், ஒற்று என்றும் கூறப்படும் அரசியல் ஐந்தாம்படை. மற்றைய முறையானது விஞ்ஞான உளவு முறை; வெடிப்பினால் நிகழும் விளைவுகளை அடிப்படையாகக் கொண்டது.

அணு வெடிப்பு நிகழ்ந்தால் அதனை, புறவீழ்வின் அளவாலும், நிலவதிர்வாலும் கண்டுபிடிக்க இயலும் என்பதை அறிவோம். (அத்தியாயம் 15) முற்கூறிய புறவீழ்வுக் கண்டுபிடிப்பு நிலையங்களின் காண்புகள் இதற்கு மிகவும் உதவும். மேலும், நிலவதிர்வை அளந்து, அணுகுண்டு போன்றவற்றின் வெடிப்புகளைக் கண்டுபிடிக்க, அண்மையில் பங்களூரில் ஒரு நிலவதிர்வு நிலையம்[4] அமைக்கப்பட்டுள்ளது.

பயிற்சிப் பள்ளி[5]

அணு ஆராய்ச்சி கேந்திரத்தில் பணிபுரியவரும் இளம் விஞ்ஞானிகளுக்கு, இப்புதிய, கடினமான, விஞ்ஞானத்துறையில் போதிய கோட்

---

1. ionosphere
2. astrophysics
3. fallout detection centres
4. seismological station
5. training school

பாட்டறிவும் செய்முறைப்பயிற்சியும் இப்பள்ளியில் ஓராண்டு காலத் திற்குக் கொடுக்கப்படுகிறது. இது 1957இல் தொடங்கப்பட்டது. இதுவரை பயிற்சிபெற்ற சுமார் 1200 விஞ்ஞானிகளும், பொறியிய லாளர்களும் டாட்டா நிலையத்திலும், அணு ஆராய்ச்சி கேந்திரத்தின் பல பிரிவுகளிலும் பணிபுரிந்து வருகின்றனர்.

விஞ்ஞான ஆராய்ச்சிக்கு உதவி

இந்தியாவில் விஞ்ஞானத்தின் தரம் உயரவேண்டும், விஞ்ஞான ஆராய்ச்சி வளரவேண்டும் என்பது காலஞ்சென்ற டாக்டர் பாபாவின் கொள்கையாக இருந்து வந்தது. இதைப் பின்பற்றி, அரசாங்கத்தின் உதவியுடன், அவர் செய்தவை :

(1) அணுசக்தி நிறுவனத்தில் பணிபுரிய வரும் இளம் விஞ்ஞானி களுக்குப் பயிற்சி அளிக்க, பயிற்சிப் பள்ளியை நிறுவியது.

(2) அணுஉலைகளோ, அல்லது அணு ஆராய்ச்சி கேந்திரத்தின் பிற வசதிகளோ தேவையுள்ள ஆராய்ச்சியாளருக்கும், பல்கலைக் கழகங் களுக்கும் இயன்ற உதவி அளித்தல்.

(3) பல்கலைக் கழகங்களிலும், கல்லூரிகளிலும் கல்வி பயிலும் திறமை மிக்க மாணவர்களுக்கும், சிறந்த ஆராய்ச்சி புரியும் விஞ்ஞானி களுக்கும் உபகாரச் சம்பளம் கொடுத்தல்.

வெளிநாட்டவர்க்கு அறிவுரையும் பயிற்சியும்

அணுவியல் சம்பந்தப்பட்ட எந்த விஷயம் பற்றியும் செய்தி வேண்டும் ஆய்வாளர்க்கும், மற்றையோர்க்கும் அணு ஆராய்ச்சி கேந்திரம் உரிய முறையில் உதவத் தயாராயிருப்பது மட்டுமின்றி, அவ்வத்துறையில் பயிற்சி பெற விழைவோர்க்குக் குறுகிய காலப் பயிற்சிகளுக்கான ஏற்பாடுகளையும் செய்து தருகிறது. இம் முறையில் சில அயல் நாட்டாரும் பயிற்சி பெற்றுச் சென்றுள்ளனர் என்பது குறிப் பிடத் தக்கது.

(இந்திய) விண்வெளி ஆராய்ச்சி

அணுத்துறையில் ஓரளவு முன்னேற்றத்தை எய்தி விட்ட இந்தியா விண்வெளித் துறையிலும் முன்னேற வேண்டும் என்ற கருத்தோடு 1962இல் இந்திய தேசீய விண்வெளி ஆராய்ச்சிக் கமிட்டி[1] நிறுவப் பட்டது. அணுசக்திக் கமிஷனின் தற்போதையத் தலைவர் டாக்டர் ஸாராபாயைத்[2] தலைவராகவும், அப்போதையத் தலைவர் டாக்டர்

---

1. Indian National Committee on Space Research (INCOSPAR)
2. Dr. Sarabhai

பாபாவை உறுப்பினராகவும் கொண்டிருந்த இந்தக் கமிட்டி, விண் வெளி ஆராய்ச்சியின் முதல்படியாக, இந்தியா விவரமறி ராக்கெட்டு களை[1] ஏவுதல் வேண்டுமென்று தீர்மானித்தது. இந்த ராக்கெட்டு ஏவு நிலையம் கேரளத்தில் தும்பா[2]வில் அமைக்கப்பட்டுள்ளது 1963ஆம் ஆண்டின் இறுதியில், இந்தியாவிலிருந்து முதலாவது ராக்கெட்டு வெற்றிகரமாக ஏவப்பட்டது.

தும்பாவிலிருந்து ஏவப்படும் ராக்கெட்டுகள் தற்போது சீதோஷ்ண நிலை ஆராய்ச்சிக்கும், பருவநிலை ஆராய்ச்சிக்கும் பயன்படும் செய்திகளை அளக்கக்கூடிய கருவிகளைத் தம்முட்கொண்டவையாக இருக்கும். பூகாந்த மத்தியரேகைக்கு[3] மிக அருகிலிருப்பதால் இங்கு சேகரிக்கப் படும் காலநிலைத் தகவல்கள் அகில உலகக் காலநிலைத் தகவல் சேகரிப் பதற்கு மிகவும் உதவியாக இருக்கும்.

முடிவுரை

இந்தியா அணுசக்தித் துறையில் செய்துள்ள சாதனைகளுக்கும், பெற்றுவரும் முன்னேற்றத்திற்கும், அரசாங்கமும், அமரர் டாக்டர் பாபாவும், அவருடன் சேர்ந்து அலுவல் ஆற்றி பத்மஸ்ரீ போன்ற விருதுகளையும், பட்னகர் பரிசு போன்ற விஞ்ஞான மதிப்புகளையும் பெற்றுள்ள பல பிரிவுத் தலைவர்களும் செய்த பணியின் பங்கு குறிப்பிடற்பாலது.

என்றாலும், இவர்களுடன் சேர்ந்து, இருக்கவும் இடமில்லாத பம்பாய் நகரின் இடுக்கண்களுக்கிடையில் வாழ்ந்து, தற்காலிகமாக அமைக்கப்பட்ட அலுவற் கொட்டகைகளில் உழைத்து, திட்டங்களை நிறைவேற்றும் பொருட்டு, எண்ணற்ற உதவியாளர், விஞ்ஞானிகள், பொறியியலாளர் முதலியோர் செய்து வரும் பணியின் பங்கும் குறைத்து மதிப்பிடற்பாலதல்ல.

இந்திய அணுத்துறை வளர்ச்சியின் சில முக்கிய கட்டங்கள்

ஏப்ரல், 1948—அணுசக்திச் சட்டம் நிறைவேறுதல்.

ஆகஸ்டு, 1948—இந்திய அணுசக்திக் கமிஷன் நிறுவப்படுதல்.

டிசம்பர், 1952—ஆல்வாயில் அருமண் உலோகத் தொழிற்சாலைத் தொடக்கம்.

ஆகஸ்டு, 1954—இந்திய அணுசக்தி இலாகா, அரசாங்கத்தால் அமைக் கப்படுதல்.

ஆகஸ்டு, 1955—டிராம்பேயில் தோரியத் தொழிற்சாலை தொடக்கம்.

---

1. sounding rockets 2. Thumba
3. geomagntic equator

ஆகஸ்டு 4, 1956—இந்தியாவின் முதல் அணுஉலையான 'அப்ஸரா' வரம்புநிலை எய்துதல்.

ஜனவரி 20, 1957—டிராம்பே அணுசக்தி நிறுவனமும் (அதன் அங்கமான) அப்ஸரா அணுஉலையும் பிரதமர் நேருவினால் திறந்து வைக்கப்படுதல்.

ஆகஸ்டு, 1957—அணுசக்தி நிறுவனப் பயிற்சிப்பள்ளி தொடக்கம்.

ஜனவரி 30, 1959—டிராம்பேயிலுள்ள யுரேனியத் தொழிற்சாலையில் முதல் உலோகக்கட்டி உண்டாக்கப்படுதல்.

பிப்ரவரி 15, 1960—டிராம்பேயிலுள்ள எரிபொருள் தயாரிப்புச் சாலையில் எரிபொருள் தண்டுகள் உண்டாக்கப்படுதல்.

ஜுலை 10, 1960—கனடா—இந்தியா அணுஉலை வரம்புநிலை எய்துதல்

செப்டம்பர், 1960—கனநீர் புதுப்பிக்கும் நிலையம் அமைக்கப்படுதல்.

ஜனவரி 14, 1961—ஜெர்லினு அணுஉலை வரம்புநிலை எய்துதல்.

ஜனவரி 16, 1961—கனடா—இந்தியா, ஜெர்லினு அணுஉலைகளும் பிற வசதிகளும் பிரதமர் நேருவினால் தொடக்கி வைக்கப்படுதல்.

ஆகஸ்டு, 1961—அணுமின்நிலையங்கள் அமைத்தற்குரிய இடங்களைத் தேர்ந்தெடுக்க ஒரு கமிட்டி நிறுவப்படுதல்.

பிப்ரவரி, 1962—இந்திய தேசீய விண்வெளி ஆராய்ச்சிக் கமிட்டி அமைக்கப்படுதல்.

பிப்ரவரி, 1962—டிராம்பேயில் ·5·5 மி. எ. வோ. வான்-டி-கிராஃப் வேக வளர்த்தி சாதனம் கட்டி முடிக்கப்படுதல்.

ஆகஸ்டு, 1962—நங்கலில் கனநீர் உற்பத்தி தொடக்கம்.

அக்டோபர், 1963—'ஸைரஸ்' அணுஉலை தனது பூரணத் திறனுடன் செயல்படத் தொடங்குதல்.

நவம்பர், 1963—தும்பாவிலிருந்து முதலாவது பரீட்சார்த்த ராக்கெட்டு ஏவப்படுதல்.

ஜனவரி 22, 1965—புளுட்டோனிய ஆலை பிரதமர் சாஸ்திரியால் துவக்கி வைக்கப்படுதல்

ஜனவரி 24, 1966—டாக்டர் பாபாவின் அகால மரணம்

ஜனவரி 12, 1967—டாக்டர் பாபாவின் நினைவாக 'டிராம்பே அணுசக்தி நிறுவனம்' என்ற பெயர் 'பாபா அணு ஆராய்ச்சிக் கேந்திரம்' (Bhabha Atomic Research Centre) என்று பிரதமர் இந்திரா காந்தியால் மாற்றியமைக்கப்படுதல்.

REFERENCES

1. INDUSTRIAL INDIA: "*Supplement on Atomic Energy*"—Bombay.

2. "*Nuclear India*" (*Various Issues*)—Department of Atomic Energy, Bombay.

3. *Annual Reports* of the Department of Atomic Energy, Bombay.

4. "*Proceedings of The Conference on The Development of Atomic Energy for Peaceful Purposes in India*"—Department of Atomic Energy, Bombay.

பிற்சேர்க்கை—1

சக்திக்கும் திணிவுக்கும் உள்ள சம்பந்தம்

ஐன்ஸ்டைனின்[1] சார்பு நிலைக்கொள்கை[2]யின் முக்கியத்துவம் வாய்ந்த முடிவுகளுள் ஒன்று, பொருண்மைக்கும், சக்திக்கும் உள்ள சம்பந்தத்தைக் காட்டும் சமன்பாடாகும். இந்த சக்தி-திணிவு சமன்பாடு[3] பின்வருமாறு :

$$E = mc^2$$

(சக்தி) = (பொருள் திணிவு) × (ஒளியின் வேகம்)^2

அதாவது m பொருள் திணிவு கொண்ட ஒரு பொருளின் அடக்க சக்தி[4] E ஆக இருக்கும். m கிராம்களிலும், C-செ.மீ./செகண்டு அலகிலும் இருந்தால், சக்தியை எர்குகளில் பெறலாம்.

இப்பொழுது ஓர் எலக்ட்ரானின் அடக்கசக்தியைக் கணக்கிடுவோம்.

எலக்ட்ரானின் திணிவு	$= 9{\cdot}108 \times 10^{-28}$ கிராம்.
ஒளியின் வேகம்	$= 3 \times 10^{10}$ செ.மீ./செகண்டு
∴ எலக்ட்ரானின் அடக்க சக்தி	$= (9{\cdot}108 \times 10^{-28}) \times 9 \times 10^{20}$
	$= 8{\cdot}196 \times 10^{-7}$ எர்கு
ஆனல் 1 மி. எ. வோ	$= 1{\cdot}6 \times 10^{-6}$ எர்கு.
ஆகவே, எலக்ட்ரானின் அடக்கசக்தி	$= \dfrac{8{\cdot}196 \times 10^{-7}}{1{\cdot}6 \times 10^{-6}}$
	$= {\cdot}5123$ மி. எ. வோ
	$\approx {\cdot}51$ மி. எ. வோ.*

எலக்ட்ரான்-பாஸிட்ரான் அழிவுக் கிரியையில்[5] இரு துகள்களுமே மறைந்து அவற்றிற்குப் பதிலாக சக்தி வெளியாகிறது. இவ்விரு துகள்களும் சமமான திணிவுடையன. ஆகவே இக்கிரியையில் வெளிப்படும் மொத்த சக்தி 1·02 மி. எ. வோ. ஆக இருக்கும்.

இக்கிரியைக்கு மறுதலை நிகழ்ச்சியான இணைத்துகள் படைப்புக் கிரியை[6]யிலோ, ஃபோட்டான் எனப்படும் இம்மிவடிவ சக்தி e^-, e^+ ஆகிய இரு துகள்களையும் தோற்றுவிக்கிறது. மேலே கணக்கிட்டபடி, ஃபோட்டானின் சக்தி குறைந்தபக்ஷம் 1·02 மி. எ. வோ. ஆக இருந்தால்தான் இது சாத்தியமாகிறது. இந்தக் குறைந்தபட்ச அளவிற்கு மேல் ஃபோட்டான் சக்தி இருக்குமானல் மிகுதியான-சக்தி (அதாவது

---

* ≈ என்ற குறி தோராயமாகச் சமம் என்று காட்டும்.

1. Einstein
2. theory of relativity
3. mass-energy relationship
4. intrinsic energy
5. annihilation process
6. pair-production process

1·02 மி. எ. வோ.க்கு அதிகப்படியான சக்தி) பிறந்த e^-, e^+ துகள் களின் இயங்கு சக்தியாக வெளிப்படும்.

ஒரு அணுத்திணிவலகு (அ. தி. அ.)[1] என்பது $1{\cdot}66 \times 10^{-24}$ கிராம் ஆகும். இது 931 மி. எ. வோ. சக்திக்குச் சமம் என்று மேற்சொன்ன முறையில் கணக்கிடலாம்.

பிற்சேர்க்கை—2

அணுக்கருக்கிரியையில் வெளிப்படும் சக்தி

ஒரு அணுக்கருக்கிரியை[2]யில் வெளிப்படும் சக்தியை சக்தி-திணிவு சமன்பாட்டால் கணக்கிடலாம். இதற்கு, கிரியைக்கு முன்னும், பின்னும் உள்ள மொத்தத் திணிவுகளை அறியவேண்டும். பின்வரும் கிரியையைக் கருதுவோம் :

$$A + B \longrightarrow C + D$$

இப்பொழுது,

(Aயின் திணிவு $+$ Bயின் திணிவு) $= I$ ஆகவும்

(Cயின் திணிவு $+$ Dயின் திணிவு) $= F$ ஆகவும் இருக்கட்டும்.

ஒரு கிரியையில், $I > F$* ஆக இருந்தால், கிரியை புரிந்த பொருள் களின் திணிவில் ஒரு பகுதி இழந்துபட்டது என்பதாகும். சக்தி அழிவின்மைக்கொள்கைப்படி, இந்தத் 'திணிவிழப்பு' சக்தியாக வெளிப்படவேண்டும். சாதாரணமாக இந்த சக்தி C, D இவற்றின் இயங்கு சக்தியாக வெளிப்படும். இவ்வகைக் கிரியைகளை சக்தி வெளியிடு கிரியைகள்[3] என்பர்.

ஆனால், $I < F$* ஆக இருந்தால், கிரியை புரிந்தபின் உள்ள பொருள்களின் மொத்தத்திணிவு, கிரியை செய்யும் பொருள்களின் மொத்தத்திணிவைவிட அதிகம் என்பதாகும். எவ்வகையிலாவது, கிரியைபுரியும் பொருள்களுக்கு சக்தி வழங்கப்பட்டாலன்றி இவ்வகைக் கிரியை நடைபெறுவது சாத்தியமில்லை. இவற்றிற்கு சக்தி ஏற்புக் கிரியைகள்[4] என்று பெயர்.

அணுப்பிளவு ஒரு சக்தி வெளியிடு கிரியை ஆகும். அணுப்பிளவி னால் வெளிப்படும் சக்தியைக் கணக்கிடுவோம்.

---

* $I = F$ என்றால் I, Fக்குச் சமம் ; என்பதுபோலவே
$I > F$ என்றால் I, Fஐவிடப் பெரியது } என்று பொருள்
$I < F$ என்றால் I, Fஐவிடச் சிறியது } என்று பொருள்

1. a. m. u.-atomic mass unit
2. nuclear reactions
3. exoergic reactions
4. endoergic reactions

யுரேனியம்-235 அணுக்கள் பலவகைகளில் பிளவுற்று, பலவேறு பிளவுத்துண்டங்களைக் கொடுக்கலாம். இவற்றுள் ஒன்று கீழ்க் கண்டவாறு* :

$$U^{235} + {}_0n^1 \longrightarrow X^{95} + Y^{139} + 2\ {}_0n^1 \ **$$

U-235-ன் திணிவு = 235·124 அ. தி. அ.

நியூட்ரானின் திணிவு = 1·009 ,,

95, 139 என்ற அணுத்திணிவெண்களைக் கொண்ட*** மூலக ஐஸோடோப்புகள் முறையே 94·945, 138·955 அ. தி. அ. திணிவுகளைப் பெற்றுள்ளன. எனவே,

கிரியைக்கு முன்னுள்ள திணிவின் மொத்த மதிப்பு

= 235·124 + 1·009 = 236·133 அ. தி. அ.

கிரியைக்குப் பின்னுள்ள திணிவின் மொத்த மதிப்பு

= 94·945 + 138·955 + 1·009 + 1·009

= 235·918 அ. தி. அ.

ஆகவே, திணிவிழப்பு = 236·133 − 235·918 = 0·215 அ. தி. அ.

ஒரு பொருளின் திணிவு 1 அ. தி. அ. ஆனால், அதன் அடக்க சக்தி 931 மி. எ. வோ. ஆகும் என்று பிற்சேர்க்கை 1இல் கண்டோம்.

ஆகவே, U-235 அணுப்பிளவிலிருந்து வெளிப்படும் சக்தி } = (·215) × (931)

= 198 மி. எ. வோ.

இதையே பிளவுசக்தி[1] என்பர். யுரேனியம்-235இல் ஏற்படும் ஒவ்வொரு பிளவுக்கும் சராசரியாக மேற்கூறிய அளவு சக்தி வெளிப் படும் என்று கொள்ளலாம்.

பொதுவாக, இந்த சக்தியானது, பிளவுதுண்டங்கள், வெளிப்படும் பிளவு நியூட்ரான்கள் இவற்றின் இயங்கு சக்தியாக வெளிப்படும்.

U^{235} அணுவின் அணுப்பிளவு கிரியைக்குக் உட்படும்போது அதன் பொருண்மை முழுவதும் சக்தியாக மாற்றப்படவில்லை என்றும் அதன் பொருள்திணிவில் மிகச்சிறிய பகுதியே சக்தியாக மாற்றப்படுகிறது என்றும் காண்க.

---

* CLASSTONE—"Principles of Nuclear Reactor Engineering" புஸ்தகத்தில் உள்ளபடி.

** இங்கு X, Y என்பன இரு விளைபொருள்களைக் குறிக்கும் சங்கேதங் களாகும்.

*** அணுவின் திணிவும். அணுத்திணிவெண்ணும் சிறிது வித்தியாசமானவை என்று நினைவுறுத்திக் கொள்க.

1. fission energy

பிற்சேர்க்கை—3

ஒரு கிராம் U-235 பிளவுபடுவதால் பெறும் சக்தி

ஒரு கிராம் யுரேனியம்-235, அணுஉலையில் 'எரிக்கப்படுவதால்' கிடைக்கும் மொத்த சக்தியைக் கணக்கிடுவோம்.

235 கிராம் U-235இல் 6×10^{23} அணுக்கள் இருக்கும்*

∴ 1 கிராம் U-235இல் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை $= \dfrac{6 \times 10^{23}}{235}$

இந்த எல்லா அணுக்களுமே பிளவுபட்டுவிட்டதாகக் கருதுவோம்.

ஒரு U-235இன் பிளவிலிருந்து வெளிப்படும் சராசரி சக்தி $= 198$ மி. எ. வோ.

1 கிராம் U-235 பிளவுபடுவதால் வெளிப்படும் மொத்த சக்தி $= \dfrac{6 \times 10^{23}}{235} \times 198$ மி.எ.வோ.

$= \dfrac{6 \times 10^{23}}{235} \times 198 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-6}$ எர்கு

ஒரு வாட் திறன் $= 10^{7}$ எர்கு/செக.

ஒரு மெகா-வாட்-நாள் என்னும் சக்தி அலகு $= 10^{7} \times 10^{6} \times 3600 \times 24$ எர்கு

∴ 1 கிராம் U-235 பிரிவின் சக்தி $= \dfrac{6 \times 10^{23} \times 198 \times 106 \times 10^{-6}}{235 \times 10^{13} \times 3600 \times 24}$

$= 00{\cdot}94$ மெகா வாட் நாள்

≈ 1 மெகா வாட் நாள்

எனவே 1 கிராம் யுரேனியம்-235 முழுவதும் பிளப்பதால் கிடைக்கக்கூடிய மொத்த (உச்சபக்ஷ) சக்தி 1 மெகாவாட் நாளாகும். பிளவுபடுபொருள்களான U-233, U-235, Pu-239 ஆகிய மூன்றிலுமே, ஒவ்வொறு பிளவினின்றும் வெளிப்படும் சராசரி சக்தி சுமார் 200 மி. எ. வோ. ஆக இருப்பதால் மேற்கண்ட கணக்கு இவற்றிற்கும் பொருந்தும்.

ஆகவே, 1 கிராம் அணு எரிபொருளைப் பயன்படுத்தி 1 மெகாவாட் நாளுக்குச் சமமான சக்தியைப் பெறலாம். இதையே வேறு

---

* இந்த எண் அவகாட்ரோ எண் (Avogadro's number) ஆகும். எந்த ஒரு பொருளை எடுத்துக்கொண்டாலும், அதன் அணுத்திணிவெண் அல்லது மூலக்கூற்று எடைக்குச் சமமான கிராம்களில் அவாகாட்ரோ எண்ணிற்குச் சமமான அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகள், இருக்கும். உதாரணமாக நீரின் மூலக்கூற்று எடை 18. ஆகவே 18 கிராம் நீரில் 6×10^{23} மூலக்கூறுகள் இருக்கும். மூலக்கூற்று எடை என்பது ஒரு மூலக்கூற்றில் உள்ள அணுக்களின் திணிவெண்களின் கூட்டுத் தொகையாகும்.

விதமாக, ஓர் அணுஉலை ஒரு நாளில் ஒரு கிராம் எரிபொருளைப் பயன் படுத்துமானால் அதன் திறன் ஒரு மெகாவாட்டாக இருக்கும் என்று கூறலாம்.

இதே அளவான வெப்பசக்தியைப் பெறவேண்டுமானால் 3 டன் நிலக்கரியோ, 700 கேலன் எண்ணெயோ தேவைப்படும்!*

மேற்கூறப்பட்டது அணுப்பிளவுகளிலிருந்து பெறக்கூடிய உச்ச பக்ஷ வெப்பசக்தியின் அளவாகும். இது எப்பொழுதும் கிடைப்ப தில்லை. இதற்குக் காரணங்கள் எரிபொருளின் பிளவுபடக்கூடிய எல்லா அணுக்களும் பிளவு கிரியைக்குமட்டும் உட்படுவதில்லை; வேறு பல அணுக்கருக்கிரியைகளுக்கும் உள்ளாகின்றன. அவற்றில் இத்த கைய சக்தி கிடைப்பதில்லை; நடைமுறையில் பிளவுசக்தி முழுவதை யும் பெற்றுப் பயன்பெற முடிவதில்லை. ஒரு சிறு பகுதி சக்தியை நடைமுறையில் இழக்க நேர்கிறது.

அணுமின் நிலையங்களிலோ மேற்கூறியவை தவிர வெப்பசக்தியை மின்சாரமாக மாற்றும்போது ஏற்படும் சக்திநஷ்டங்களும் சேர்கின்றன.

பிற்சேர்க்கை—4

வெப்ப நியூட்ரானின் வேகம்

இயங்கும் ஒரு பொருளின் திணிவு m ஆகவும், அதன் வேகம் v ஆகவும் இருந்தால், இயக்கத்தால் அப்பொருளுக்குள்ள இயங்குசக்தி $\frac{1}{2}mv^2$ ஆகும். இதைப் பின்வருமாறு காட்டலாம்:

இயக்கம் u என்ற வேகத்தில் தொடங்கி vஆக ஒரே சீராக வளரட்டும். இது t செகண்டுகளில் நிகழ்ந்ததாகக் கொள்வோம்.

$$\text{சராசரிவேகம்} = \frac{(\text{தொடக்கவேகம்})+(\text{இறுதிவேகம்})}{2}$$

$$= \frac{(u+v)}{2}$$

இடப்பெயர்ச்சி தூரம் sஆக இருக்கட்டும்.

$$\text{இடப்பெயர்ச்சி} = (\text{சராசரிவேகம்})\times(\text{காலம்})$$

$$\text{அதாவது, } s = \left(\frac{u+v}{2}\right)\times t$$

வேகவளர்ச்சி வீதத்தை a என்று குறிப்பிட்டால்

$$\text{வேகவளர்ச்சி வீதம்} = \frac{(\text{இறுதிவேகம்})-(\text{தொடக்கவேகம்})}{(\text{காலம்})}$$

* ஆதாரம்: S. GLASSTONE—"Sourcebook on Atomic Energy"

அதாவது, $a = \frac{(v-u)}{t}$.

ஆகவே, $t = \frac{(v-u)}{a}$.

இதை முந்தைய சமன்பாட்டில் பிரதியிட்டால்,

$$s = \left(\frac{u+v}{2}\right) \times t$$

$$= \frac{(u+v)}{2} \times \frac{(v-u)}{a}$$

$$= \frac{(v^2-u^2)}{2a}$$

ஆற்றல் சக்தி = (விசை) × (இடப்பெயர்ச்சி)
= (பொருள் திணிவு) (வேகமாற்ற வீதம்) (இடப்பெயர்ச்சி)

$$= mas$$

$$= m \times a \times \frac{(v^2-u^2)}{2a}$$

$$= \tfrac{1}{2}m(v^2-u^2)$$

முதலில் அசைவற்றிருந்த பொருள், v வேகத்துடன் இயங்கும் போது, அதன் இயங்குசக்தி $\frac{1}{2}mv^2$ என்பது விளங்குகிறது (ஏனென்றால் $u=0$).

இச்சமன்பாட்டில் m கிராம்களிலும், v செ.மீ./செகண்டு அலகிலும் இருந்தால் இயங்கு சக்தியை எர்குகளில் பெறலாம்.

இச்சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி ஒரு வெப்ப நியூட்ரானின் வேகத்தைக் கணக்கிடுவோம்.

நியூட்ரானின் திணிவு $= 1{\cdot}675 \times 10^{-24}$ கிராம்

வெப்ப நியூட்ரானின் சக்தி $= 0{\cdot}025$ எ. வோ.
$= 0\ 025 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-12}$ எர்கு

நியூட்ரானின் வேகம் $= v$ செ.மீ./செக. ஆக இருக்கட்டும்.

இப்பொழுது $\frac{1}{2}$ (நியூட்ரானின் திணிவு) × (நியூட்ரானின் வேகம்)^2 = (நியூட்ரானின் சக்தி)

அதாவது, $\frac{1}{2} \times 1{\cdot}675 \times 10^{-24} \times v^2 = {\cdot}025 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-12}$

ஆகவே, $v^2 = \frac{0{\cdot}025 \times 1{\cdot}6 \times {}^{-12} \times 2}{1{\cdot}675 \times 10^{-24}}$

நியூட்ரானின் வேகம், $v = \sqrt{\frac{0{\cdot}025 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-12} \times 2}{1\ 675 \times 10^{-24}}}$

$= {\cdot}2185 \times 10^6$ செ.மீ./செக.

≈ 2000 மீட்டர்/செக.

இதுவே சுமாராக மணிக்கு 4000 மைல்களாகும்.

மூலகங்களின் பட்டியல்

அணு எண் Atomic Number	அணு எடை Atomic Weight	குறியீடு Symbol	மூலகத்தின் பெயர் Name of the Element	இயற்கையில் கிடைக்கும் ஐஸோடோப்புகளின் எண்ணிக்கை No. of uatural isotopes
1	1·008	*H*	ஹைடிரஜன் (hydrogen)	3
2	4·003	*He*	ஹீலியம் (helium)	3
3	6 94	*Li*	லிதியம் (lithium)	4
4	9·013	*Be*	பெரில்லியம் (beryllium)	4
5	10·82	*B*	போரான் (boron)	5
6	12·01	*C*	கார்பன் (carbon)	6
7	14·008	*N*	நைட்ரஜன் (nitrogen)	6
8	16 0	*O*	ஆக்ஸிஜன் (oxygen)	6
9	19·0	*F*	ஃபுளோரின் (Fluorine)	5
10	20 18	*Ne*	நியான் (Neon)	6
11	22·99	*Na*	ஸோடியம் (Sodium)	6
12	24·32	*Mg*	மக்னீஷியம் (magnesium)	6
13	26·98	*Al*	அலுமினியம் (aluminium)	6
14	28 09	*Si*	ஸிலிகான் (silicon)	7
15	30·98	*P*	பாஸ்ஃபரஸ் (phosphorus)	7
16	32·07	*S*	கந்தகம் (ஸல்ஃபர்) (sulphur)	7
17	35·46	*Cl*	குளோரின் (chlorine)	8
18	39 94	*A*	ஆர்கான் (argon)	8
19	39·1	*K*	பொட்டாசியம் (potassium)	8
20	40 08	*Ca*	கால்சியம் (calcium)	11
21	44·96	*Sc*	ஸ்காண்டியம் (scandium)	9
22	47·90	*Ti*	டைட்டேனியம் (titanium)	8
23	50·94	*V*	வனேடியம் (vanadium)	8
24	52·01	*Cr*	குரோமியம் (chromium)	8
25	54·93	*Mn*	மாங்கனீஸ் (manganese)	7
26	55·85	*Fe*	இரும்பு (Iron)	9
27	58·94	*Co*	கோபால்ட் (cobalt)	10
28	58·71	*Ni*	நிக்கல் (Nickel)	11
29	63 54	*Cu*	தாமிரம் (copper)	10
30	65·38	*Zn*	துத்தநாகம் (Zinc)	11
31	69·72	*Ga*	காலியம் (gallium)	10
32	72·60	*Ge*	ஜெர்மேனியம் (germanium)	13
33	74·91	*As*	ஆர்ஸனிக் (arsenic)	11

அணு எண் Atomic Number	அணு எடை Atomic Weight	குறியீடு Symbol	மூலகத்தின் பெயர் No. of the Element	இயற்கையில் கிடைக்கும் ஐஸோடோப்புகளின் எண்ணிக்கை No. of natural isotopes
34	78 96	*Se*	செலினியம் (selenium)	14
35	79·92	*Br*	புரோமின் (bromine)	15
36	83·80	*Kr*	கிரிப்டான் (krypton)	22
37	85·48	*Rb*	ருபிடியம் (rubidium)	16
38	87 63	*Sr*	ஸ்ட்ரான்ஷியம் (strontium)	15
39	88 92	*Y*	யிட்ரியம் (yttrium)	16
40	91·22	*Zr*	ஜிர்க்கோனியம் (zirconium)	12
41	92·91	*Nb*	நயோபியம் (niobium)	11
42	95·95	*Mo*	மாலிப்டினம் (molybdenum)	14
43	99	*Tc*	டெக்னீஷியம் (technetium)	13
44	101·7	*Ru*	ருதினியம் (ruthenium)	14
45	102 91	*Rh*	ரோடியம் (rhodium)	13
46	106·4	*Pd*	பல்லேடியம் (palladium)	14
47	107·88	*Ag*	வெள்ளி (silver)	14
48	112 41	*Cd*	காட்மியம் (cadmium)	14
49	114·82	*In*	இண்டியம் (indium)	14
50	118 7	*Sn*	வெள்ளீயம் (tin)	18
51	121·76	*Sb*	ஆன்டிமனி (antimony)	19
52	127·6	*Te*	டெல்லூரியம் (tellurium)	19
53	126 9	*I*	அயோடின் (iodine)	21
54	131·3	*Xe*	ஜெனான் (xenon)	23
55	132·9	*Cs*	ஸீஷியம் (caesium)	20
56	137·4	*Ba*	பேரியம் (barium)	19
57	138·9	*La*	லாந்தனம் (lanthanum)	14
58	140·1	*Ce*	ஸீரியம் (cerium)	13
59	140·9	*Pr*	பிரேஸியோடிமியம் (praseodymium)	11
60	144 3	*Nd*	நயோடிமியம் (neodymium)	14
61	147	*Pm*	புரோமீதியம் (promethium)	11
62	150·4	*Sm*	ஸமேரியம் (samarium)	13
63	152 0	*Eu*	யூரோப்பியம் (europium)	17
64	157·3	*Gd*	கடோலினியம் (gadolinium)	15
65	158 9	*Tb*	டெர்பியம் (terbium)	12
66	162·5	*Dy*	டிஸ்ப்ரோஸியம் (dysprosium)	11
67	164·9	*Ho*	ஹால்மியம் (holmium)	7
68	167·3	*Er*	எர்பியம் (erbium)	12
69	168·9	*Tm*	தூலியம் (thulium)	8

அணு எண் Atomic Number	அணு எடை Atomic Weight	குறியீடு Symbol	மூலகத்தின் பெயர் Name of the Elemeut	இயற்கையில் கிடைக்கும் ஐஸோடோப்புகளின் எண்ணிக்கை No. of natural isotopes
70	173 0	*Yb*	யிட்டர்பியம் (ytterbium)	11
71	175	*Lu*	லுடிஷியம் (lutetium)	8
72	178·5	*Hf*	ஹாஃப்னியம் (hafnium)	12
73	1810	*Ta*	டான்டலம் (tantalum)	10
74	183·9	*W*	டங்ஸ்டன் (tungsten)	13
75	186·2	*Re*	ரீனியம் (rhenium)	9
76	190·2	*Os*	ஆஸ்மியம் (osmium)	13
77	192·2	*Ir*	இரிடியம் (iridium)	11
78	195·1	*Pt*	பிளாட்டினம் (platinum)	11
79	197·0	*Au*	தங்கம் (gold)	14
80	200·6	*Hg*	பாதரசம் (mercury)	14
81	204·4	*Tl*	தாலியம் (thallium)	17
82	207·2	*Pb*	காரீயம் (lead)	14
83	209 0	*Bi*	பிஸ்மத் (bismuth)	16
84	210·0	*Po*	பொலோனியம் (polonium)	19
85	210 0	*At*	ஆஸ்டடைன் (astatine)	17
86	222	*Rn*	ரேடான் (radon)	13
87	223	*Fr*	ஃபிரான்ஷியம் (francium)	9
88	226·1	*Ra*	ரேடியம் (radium)	13
89	227	*Ac*	ஆக்டினியம் (actinium)	10
90	232·1	*Th*	தோரியம் (thorium)	13
91	231	*Pa*	புரோட்டாக்டினியம் (protactinium)	13
92	238·1	*U*	யுரேனியம் (uranium)	14
93	—	*Np*	நெப்டூனியம் (neptunium)	—
94	—	*Pu*	புளூட்டோனியம் (plutonium)	—
95	—	*Am*	அமெரிஷியம் (americium)	—
96	—	*Cm*	கியூரியம் (curium)	—
97	—	*Bk*	பெர்க்கலியம் (berkelium)	—
98	—	*Cf*	கலிபோர்னியம் (californium)	—
99	—	*E*	ஐன்ஸ்டைனியம் (einsteinium)	—
100	—	*Fe*	ஃபெர்மியம் (fermium)	—
101	—	*Mv*	மெண்டலீவியம் (mendelevium)	—
102	—	*Nl*	நோபலியம் (nobelium)	—
103	—	—	லாரன்ஷியம் (Lawrencium)	—
104	—	—	குர்ஷடேவியம்	—

93 முதல் 104 வரை அணு எண் கொண்ட மூலகங்களின் அணு எடைகளையும், கிடைக்கும் ஐஸோடோப்புகளின் எண்ணிக்கையையும் திட்டவட்டமாகக் கூற முடியவில்லை.

அணுத்துறையில் சில முக்கிய தேதிகள்

கி. மு. 500—எல்லாப் பொருள்களும் நிலம், நீர், தீ, காற்று, வான் ஆகிய ஐந்து மூலப்பொருள்களாலானவை என்ற கொள்கை கிரேக்கர்களிடையேயும், இந்துக்களிடையிலும் நிலவி வந்தது.

கி. மு. 400—டெமாக்ரிடஸ் (Democritus) என்பவர் இவ்வுலகில் எப்பொருளும் 'அணு'க்களால் ஆக்கப்பட்டது என்று கருதினர். பொருள்களின் மிகச் சிறிய இப் பகுதிகளுக்கு 'அணு'க்கள் என்ற பெயரும் இட்டார். (கிரேக்க மொழியில் *a tomos*=பிளவு படாதது.)

கி. மு. 100—லுக்கிரிஷியஸ் 'பொருள்களின் இயல்பைப்பற்றி' என்னும் கவிதையில் (De Rerum Natura) டெமாக்ரிடஸின் கொள்கையை விளக்கிக் கூறினர்.

கி. பி. 1789—லவாய்ஷியர் (Lavoisier) பல மூலகங்களைக் கண்டு பிடித்து, 'காற்று நீர் முதலிய சாதாரணப் பொருள்களுங்கூட மூலகங்கள் அல்ல; மூலகங்களால் ஆனவையே' என்று கூறினர்.

கி. பி. 1803—டால்டனின் (Dalton) அணுக்கொள்கை.

கி. பி. 1811—டால்டனின் அணுக்கொள்கையால் எழுந்த சில கேள்விகளுக்கு விடையாக, அவகாட்ரோ (Avogodro) பொருள்களெல்லாம் 'மூலக்கூறு'களால் ஆனவை என்று கூறுதல்.

கி. பி. 1815—ஹைடிரஜனே எல்லாப் பொருள்களுக்கும் அடிப்படை என்று ப்ரௌட் (Prout) கருதுதல்.

கி. பி. 1819—பெர்ஸீலியஸ் (Berzelius), ஒவ்வொரு மூலகமும் ஒரு சின்னத்தால் குறிக்கப்படலாம் என்று கூறுதல்.

கி. பி. 1869—மெண்டலீவ் (Mendelyeev) மூலக ஆவர்த்த அட்டவணைக் கருத்தை விளக்குதல்; லாதர் மேயரும் (Lothar Meyer) இது போன்றே மூலகங்களை வகைப்படுத்துதல்.

கி. பி. 1879—க்ரூக்ஸ் (Crookes) என்பார் தமது மின்சாரம் பற்றிய பரிசோதனைகளில் எதிர்மின்வாய்க் கதிர்களைக் கண்டுபிடித்தல்.

கி. பி. 1893—வாயுக்களினூடே மின்சாரம் பாய்கையில் நிகழும் விளைவுகளுக்கு ஜே. ஜே. தாம்ஸனின் (J. J. Thomson) விளக்கம்.

கி. பி. 1895—ராண்ட்ஜன் (Roentgen) ஒரு புதியவகைக் கதிரைக் கண்டுபிடித்து, 'எக்ஸ்-கதிர்கள்' என்று அதற்குப் பெயரிடுதல்.

கி. பி. 1896—பெக்கரல் (Becquerel) யுரேனியத்தின் கூட்டுப் பொருள்கள் கதிரியக்கம் வாய்ந்தவை என்று கண்டுபிடித்தல். எக்ஸ்-கதிர்கள் அயனிகளை உண்டாக்குதலை, பெர்ரின் (Perrin) காணல்.

கதிர்வீச்சால் கண்ட முதல் தீவிளைவு (டெர்மாடைடிஸ்)—எக்ஸ்-குழாய் உற்பத்தியாளர் கிரப்பே (Grubbe) கைகளில்.

கி. பி. 1897—ஜே. ஜே. தாம்ஸன் எதிர்மின்வாய்க் கதிர்கள் எலக்ட்ரான்களால் ஆனவை என்றறிதல்.
அவர் தனது அணுமாடலைப் பிரேரேபித்தல்.
ருதர்ஃபோர்டு (Rutherford) கதிரியக்கப் பொருள்கள் இரு வகைக் கதிர்களை வெளிவிடுவதைக் கண்டுபிடித்தல். அவற்றிற்கு முறையே ஆல்ஃபா, பீட்டாக் கதிர்கள் என்று பெயரிடுதல்.

கி. பி. 1898—சீயூரி தம்பதியால் (Pierrie and Marie Curie) பொலோனிய, ரேடிய உலோகங்கள் அவற்றின் தாதுக்களிலிருந்து பகுத்தெடுக்கப்படுதல்.
வில்லார்டு (Villard) காமாக் கதிர்வீச்சைக் கண்டுபிடித்தல்.

கி. பி. 1901—மாக்ஸ் பிளாங்க் (Max Planck) தனது க்வான்ட்டம் கொள்கையைப் (quantum theory) பிரேரேபித்தல்.

கி. பி. 1902—ருதர்போர்டும், ஸாடியும் (Rutherford and Soddy) கதிரியக்கத்தைக் கோட்பாட்டின் மூலம் விளக்குதல்.

கி. பி. 1903—முதன் முதலாக ரேடியத்தைப் பயன்படுத்தல் (புற்று நோய் சிகிச்சையில்).

கி. பி. 1905—ஐன்ஸ்டீன் (Einstein) தனது சார்புநிலைக் கொள்கையை அறிவித்தல்.

கி. பி. 1906—கைகர் மல்லர் எண்ணுகருவி, அவ்விருவராலும் அமைக்கப்பட்டுப் பயன்படுத்தப்படுதல்.

கி. பி. 1909—மில்லிக்கன் (Millikan) எண்ணெய்த் துளியைக்கொண்டு பரிசோதனை செய்து எலக்ட்ரானின் மின்னேற்றத்தை அளத்தல்.

கி. பி. 1911—ருதர்ஃபோர்டின் அணுமாடல்.

கி. பி. 1912—ஹெஸ் (Hess) அண்டக் கதிர்களைக் கண்டுபிடித்தல்.

கி. பி. 1913—போரின் (Bohr) அணுமாடல்.
மோஸ்லே (Moseley) ஒவ்வொரு மூலகத்திற்கும் சிறப்புப் பண்பாக ஓர் அணுஎண் உண்டு என்று காணல்; பல மூலகங்களுக்கும் அவ்வவற்றுக்குரிய அணுஎண்களைக் கண்டுபிடித்தல்.
ஹெவ்ஸி (Hevesy) கதிரியக்க ஐஸோடோப்பைப் பயன்படுத்தி, முதல் டிரேஸர் பரிசோதனை செய்தல்.

கி. பி. 1919—ஒரு மூலகத்தைச் செயற்கையில் இன்னொரு மூலகமாக மாற்ற முடியும் என்று ருதர்ஃபோர்டு தனது பரிசோதனை மூலம் கண்டுபிடித்தல்.

கி. பி. 1927—ஹெச். ஜே. முல்லர் (.H .J Muller) எக்ஸ் கதிர்களால் ஒருவகை ஈயினத்தில் (fruit fly) பண்பகப் பிறழ்ச்சிகள் ஏற்படுவதைக் காணல்.

கி. பி. 1920—1930—ஹைஸன்பர்க் (Heisenberg), லூயி-டி-பிராய் (Louis de Broglie), ஷ்ரோடிஞ்ஜர் (Schrodinger), டிராக் (Dirac), பார்ன் (Born) முதலியோரால் க்வான்ட்டம் இயக்க வியல் (quantum mechanics) என்ற புதிய கோட்பாட்டுத் துறை தொடக்கப்படுதல்.

கி. பி. 1932—யுரே (Urey) டியுடிரியத்தைக் கண்டுபிடித்தல்.
லாரன்ஸ் (E. O. Lawrence) சைக்ளோட்ரானை அமைத்தல்.
சாட்விக் (Chadwick) நியூட்ரானைக் கண்டுபிடித்தல்.
அணுக்கரு, நியூட்ரான்களாலும் புரோட்டான்களாலும் ஆனது என்று கோட்பாட்டால் ஹைஸன்பர்க் விளக்குதல்.

கி. பி. 1933—ஆண்டர்ஸன் (Anderson) பாஸிட்ரானைக் கண்டு பிடித்தல்.

கி. பி. 1934—ஜோலியோ தம்பதியால் (Frederick and Irene Joliot) கதிரியக்கம் (செயற்கையில்) தூண்டப்படலாம் என்று கண்டு பிடிக்கப்படுதல்.

கி. பி. 1939—ஹானும், ஸ்ட்ராஸ்மனும் (Hahn and Strassman) அணுப்பிளவைக் கண்டுபிடித்தல்.
மைட்னரும், ஃப்ரிஷும் (Meitner & Frisch) அணுப்பிள விஞல் பெருஞ்சக்தி வெளியாகும் என்று கணக்கிட்டுக் கூறுதல்.

கி. பி. 1940—ஸீபோர்க் (Seaborg) முதலியோரால் புளூட்டோனியம் கண்டுபிடிக்கப்படுதல்.

கி. பி. 1941—ஒளிர் எண்ணுகருவி கால்மனல் (Kallmann) அமைக்கப் படுதல்.

கி. பி. 1942—முதல் அணுஉலை சிகாகோ நகரில் இயங்கத் தொடங்குதல் (டிஸம்பர், 12)

கி. பி. 1942—1945—அமெரிக்காவில் மன்ஹாட்டன் திட்டத்தில் (Manhattan Project) அணுகுண்டு தயாரிப்பு.

கி. பி. 1945—(ஜூலை, 16) அலமோகார்டோவில் (Alamogordo) முதல் அணுகுண்டு சோதனை.
(ஆகஸ்டு, 6) ஜப்பானிலுள்ள ஹிரோஷிமாவில் முதல் அணுகுண்டு (யுரேனிய) வீச்சு.
(ஆகஸ்டு, 9) ஜப்பானின் மேல், நாகஸாகியில், இரண்டாவது அணுகுண்டு (புளூட்டோனிய) வீச்சு.

கி. பி. 1946—லிப்பி (Libby) கதிரியக்கத்தைப் பயன்படுத்தி கால அளவீடு செய்தல்.

கி. பி. 1949—முதல் ரஷிய அணுகுண்டு வெடிப்பு.

கி. பி. 1951—ஐடாஹோவில் முதல் ஈனுலை.

கி. பி. 1952—முதல் வெப்பக்கருகுண்டு (ஹைடிரஜன் குண்டு) சோதனை (அமெரிக்கா.)

கி. பி. 1946—1955—மருத்துவம், தொழிலியல், விவசாயம், விஞ்ஞான ஆராய்ச்சி முதலிய பல துறைகளிலும் அணுவைப் பெருவாரியாகப் பயன்படுத்துதல்.
பல ஆராய்ச்சி அணுஉலைகளைப் பல நாடுகளும் கட்டுதல்.
ஐஸோடோப்புகள் பல துறைகளிலும் பயன்படுதல்.
முன்னேறும் சிறு நாடுகளும் கூட அணுத்துறையில் அடியெடுத்து வைத்தல்.

அணுகுண்டின் தீவிளைவுகளை உணர்ந்து, உலகெல்லாம் அணுவை ஆக்கத்திற்கு மட்டுமே பயன்படுத்த வேண்டுமென்ற உணர்வு ஏற்பட்டு வேரூன்றல்.

கி. பி. 1955—ஆக்கப்பணிகளில் அணுசக்தி பற்றி முதல் சர்வதேச மகாநாடு (International Conference on the Peaceful uses of Atomic Energy) ஜெனிவா (Geneva) வில் நடைபெறுதல்.

கி. பி. 1956—இங்கிலாந்திலுள்ள கால்டர் ஹாலில் (Calder Hall) முதல் அணுமின்னுலை அமைக்கப்படுதல்.

கி. பி. 1958, 1964—ஆக்கப்பணிகளில் அணுசக்திபற்றிய இரண்டாவது, மூன்ருவது சர்வதேச மகாநாடுகள் ஜெனிவாவில் நிகழ்தல்.

கி. பி. 1964—(ஆகஸ்டு) சைனு அணுகுண்டை வெடித்தல்.

சொற்சுருக்கங்கள்
(ABBREVIATIONS)

அ. ஆ. கா.	அரை ஆயுள் காலம்
அ. கு. த.	அரைக் குறைப்புத் தடிமன்
அ. தி. அ.	அணுத்திணிவு அலகு
(அல்)	அல்லது
எ. வோ.	எலக்ட்ரான் வோல்ட்
க. செ. மீ.	கன சென்டிமீட்டர்
கு. கூ. அ.	குறை கூற்று அளவு
கூ. அ.	கூற்று அளவு
ச. செ. மீ.	சதுர சென்டிமீட்டர்
செ.	சென்டிகிரேட்
செக.	செகண்டு
செ. மீ.	சென்டிமீட்டர்
த. கு. த.	தசக்குறைப்புத் தடிமன்
தே. க. க. வீ.	தேங்கியக் கருக்கதிர்வீச்சு
நி. மி. அ.	நிலைமின் அலகு
பி.	பிளவு
பி. பி.	பிளவு–பிணைவு
பி. பி. பி.	பிளவு–பிணைவு–பிளவு
பு. ஊ.	புற ஊதா (க்கதிர்கள்)
மி. எ. வோ.	மில்லியன் எலக்ட்ரான் வோல்ட்
மி. மீ.	மில்லிமீட்டர்
மெ. வா.	மெகாவாட்
மெ. வா. நா.	மெகாவாட் நாட்கள்
ரா.	ராண்ட்ஜன்
%	சதவீதம்
α	ஆல்ஃபா, ஆல்ஃபாத்துகள்
β	பீட்டா, பீட்டாத்துகள்
β^+, e^+	பாஸிட்ரான்
β^-, e	எலக்ட்ரான்
γ	காமாக்கதிர்
d	டியூடிரான்
n	நியூட்ரான்
p	புரோட்டான்
F	பாரன்ஹீட்
C	சென்டிகிரேட்

கலைச்சொற்கள்

ஆங்கிலம்—தமிழ்

A

Absorption	—	கிரகிப்பு
Acceleration	—	வேகவளர்ச்சி
Accelerator	—	வேகவளர்த்தி
Activation	—	தூண்டற்கிரியை, தூண்டல்
Adaptation	—	இணங்கமாறல்
Age, Mean Child Bearing	—	இனவிருத்தி நிகழக்கூடிய வயது
Agriculture	—	பயிரியல், விவசாயத்துறை வேளாண்மைத்துறை
Aircraft carrier	—	விமானந்தாங்கிக் கப்பல்
Alchemist	—	ரசவாதி
Alchemy, Modern	—	நவீன ரசவாதம்
Allotropy	—	புறவேற்றுமை
Alpha Particle (Alpha Ray)	—	ஆல்ஃபாதுகள்(ஆல்ஃபாக்கதிர்)
Amoeba	—	அமீபா
Amplifier, Electronic	—	மின்பெருக்கி
Anabolism	—	வளர்ச்சி மாற்றம்
Anaemia	—	சோகை, ரத்தச் சோகை
Anaphase (Cell)	—	ஸெல் பிரிநிலை
Analysis, Activation	—	கதிர்தூண்டிப் பகுக்கும் முறை
Angle, Scattering	—	சிதறல் கோணம்
Anhydrous	—	நீரற்ற
Annihilation	—	அழிவுக்கிரியை
Anode	—	ஆனோடு, நேர்மின்வாய்
Antibiotics	—	நுண்ணுயிர் கொல்லி மருந்துகள்
Antibodies	—	நோய் எதிர்ப் பொருள்கள்
Antiparticles	—	எதிரியல் துகள்கள்
Archaeology	—	தொல் பொருளாய்வு
Astronomy, Radio	—	ரேடியோ வானவியல்
Atom	—	அணு
Atomic Bomb	—	அணுகுண்டு
Atomic Number	—	அணு எண்
Atomic weight	—	அணு எடை
Atmosphere	—	காற்றுமண்டலம், வாயுமண்டலம்
Aurora	—	அரோரா
Autocatalytic	—	சுயப்பெருக்கி

Autocontrol	—	சுய அடக்கி
Automatic	—	தானியங்கு
Axis	—	அச்சு

B

Backscattering	—	மடக்குச் சிதறல்
Backup	—	துணை நிறுத்தம்*
Bacteria	—	பாக்டீரியா
Barn	—	பார்ன்
Barometer	—	பாரமானி
Battery	—	மின்கலம்
Battery, Nuclear	—	அணுமின்கலம்
Beam	—	கற்றை
Bellows	—	துருத்தி
Expansion Bellows	—	விரிவடையும் துருத்தி
Beta Particle (Beta Ray)	—	பீட்டாத்துகள் (பீட்டாக்கதிர்)
Betatron	—	பீட்டட்ரான்
Biochemistry	—	உயிர் ரசாயனம்
Biology	—	உயிரியல்
Biology, Molecular	—	மூலக்கூற்று உயிரியல்
Blanket	—	சூழ்பொருள், போர்வை
Boiler	—	கொதிகலன்
Bomb	—	குண்டு
Atom Bomb	—	அணுகுண்டு
Gun Type Bomb	—	துப்பாக்கி வகை குண்டு
High Yield Bomb	—	அதி விளைச்சல் குண்டு
Implosion Type Bomb	—	அமுக்குவகை குண்டு
Bond, Chemical	—	ரசாயனப் பிணைப்பு
Botany	—	தாவர இயல்
Bottle, Magnetic	—	காந்தப் புட்டி
Bourdon Tube	—	போர்டன் குழல்
Breeding	—	ஈனல், ஈனுதல்
Burnt, Spent	—	எரிவுற்ற
Burnup	—	எரிவு
Byproduct	—	உபபொருள், துணைப்பொருள்

C

Calandria	—	அணுஉலைக்கலன், காலண்டிரியா

* இந்த சொல் அணுஉலை நிறுத்தத்தைக் குறிக்கும் ஒரு பிரத்யேகமான சொல்லாகும்.

Calcining — நீற்றுதல்
Calibration — ஒப்பீட்டு முறை
Calorie — கலோரி
Cancer — புற்று, புற்றுநோய்
Capacitor — கபாஸிடர், மின்தங்கி
Capacity, Heat — வெப்பக் கொள்திறன்
Capillaries — தந்துகிகள்
Capture — உட்கவர்தல்
  Radiative capture — கதிர்வெளியிடு உட்கவர் கிரியை
Casting — வார்ப்பெடுத்தல்
  Injection casting — உட்செலுத்தி வார்ப்பெடுத்தல்
  Mould for casting — வார்ப்பு அச்சு
Catabolism — சிதைவு மாற்றம்
Cathode — காத்தோடு, எதிர்மின்வாய்
Cell — ஸெல்
  Germ cell — பாலின ஸெல்
  Reproductive cell — இனவிருத்தி ஸெல்
Cell Division — ஸெல் பிரிவு
Cell Multiplication — ஸெல் விருத்தி
Centromere — மைய ஒட்டு
Ceramic — ஸெரமிக்
Charge, Electrical charge — மின்னேற்றம்
  Negative charge — நெகட்டிவ் மின்னேற்றம், எதிர்மின்னேற்றம்
  Positive charge — பாஸிட்டிவ் மின்னேற்றம், நேர்மின்னேற்றம்
Chemistry — ரசாயனம்
  Analytical Chemistry — பகுப்பு ரசாயனம்
  Biochemistry — உயிர் ரசாயனம்
  Organic Chemistry — கரிமப்பொருள் ரசாயனம்
  Radiation Chemistry — கதிர்வீச்சு ரசாயனம்
Chromosome — பண்பகத்திரி
Circuit — சுற்று
  Electrical circuit — மின்சுற்று
  Printed circuit — பொறிக்கப்பட்ட மின்சுற்று
Cladding — உறை
Closed Loop — முற்றுப்பெற்ற சுற்று, முழுச்சுற்று
Clutch — பிடி
  Electromagnetic clutch — மின்காந்தப்பிடி

Coagulation — தோய்தல்
Coating — பூச்சு
Coeffecient — கெழு
Temperature coeffecient — உஷ்ணநிலைக் கெழு
Collision — மோதல்
Elastic collision — மீட்சிமோதல்
Inelastic collision — மீட்சியிலா மோதல்
Column, Liquid — திரவஸ்தம்பம்
Compacting — அமுக்குதல்
Compensated — ஈடு செய்யப்பட்ட
Component — உறுப்பு, கூறு
Compound — கூட்டுப்பொருள்
Computer — கம்ப்யூட்டர்
Concentration — அடர்வு
Concrete — கான்க்ரீட்
Prestressed Concrete — தகைவுக்குட்படுத்திய கான்க்ரீட்
Reinforced Concrete — உறுதியுடை கான்க்ரீட்
Condenser — குளிர்விப்பான், குளிர்கலன்
Conduction — கடத்தல்
Conductivity, Heat — வெப்பம் கடத்தும் திறன்
Conductors, Electrical — மின்கடத்திகள்
Constant — மாறு எண், நிலையெண்
Container — கொள்கலன்
Containment — உள்ளடக்கல்
Contamination, Radioactive Contamination — கதிர்படிவு
Fixed Contamination — நிரந்தரக் கதிர்படிவு
Loose Contamination — நீக்கக்கூடிய கதிர்படிவு
Contaminated Area — கதிர்படிந்த இடம்
Contaminated Material — கதிர்படிந்த பொருள்
Contamination Monitor — படிதூசிமானி
Control — கட்டுப்பாடு
Automatic Control — தானியங்கு கட்டுப்பாடு
Leakage Control — வெளியேறு விகிதக் கட்டுப்பாடு
Manual Control — ஆளியக்குக் கட்டுப்பாடு
Position Control — தானக் கட்டுப்பாடு
Quality Control — தரக் கட்டுப்பாடு
Control Rod — கட்டுப்பாட்டுக் கோல், கட்டுப்படுத்தும் கோல்
Control Room — ஆட்சி அறை

Control System — கட்டுப்பாட்டு முறை
Convection — வெப்பச் சலனம்
Convection Current — வெப்பச் சலன ஓட்டம்
Coolant — ஆற்றி
  Organic Coolant — கரிமப் பொருள் ஆற்றி
  Primary Coolant — பிரதம ஆற்றி
  Secondary Coolant — இரண்டாம் ஆற்றி
Coolant Circuit — ஆற்றி சுற்றோட்டப் பாதை
Core — மையம், உள்ளகம்
Corrosion — அரிமானம்
Corrosion Resistance — அரிமானத் தடை
Cosmic Rays — அண்டக் கதிர்கள்
Cost — செலவு
  Capital Cost — முதலீட்டுச் செலவு
  Fixed Cost — நிலையான செலவு
  Operating Cost — பராமரிப்பு செலவு
  Production Cost — உற்பத்திச் செலவு
  Variable Cost — மாறும் செலவு
Counter — எண்ணிடு கருவி, எண்ணி
  Geiger Muller Counter — கைகர் மல்லர் எண்ணிடு கருவி
  Proportional Counter — நேர்விகித எண்ணிடு கருவி
  Scintillation Counter — ஒளிர்வு எண்ணிடு கருவி
Crane — பாரந்தூக்கி, பளுதூக்கி
Criticality — வரம்பு நிலை
Critical — வரம்பு நிலையில் உள்ள
Critical, Sub — வரம்பு நிலைக்குட்பட்ட, வரம்புக் கடங்கிய
Critical, Super — வரம்பு மீறிய
Critical Mass — வரம்புத் திணிவு
Critical Size — வரம்பு நிலை கன அளவு
Cross Section — முகப்பரப்பு, குறுக்கு வெட்டு
Curie — க்யூரி
Curvature — வளைவு
Cycle — சுற்று முறை
  Direct Cycle — நேர்ச் சுற்று முறை
  Dual Cycle — கலப்புச் சுற்று முறை
  Indirect Cycle — மறைமுகச் சுற்று முறை
  Superheat Cycle — மிகு வெப்பச் சுற்றுமுறை
Cycle, Life — வாழ்க்கைச் சுழல்
Cycle, Power — திறன் வட்டம்

Cyclotron	—	சைக்ளோட்ரான்
Cylinder	—	ஸிலிண்டர்
Cytoplasm	—	சைட்டோபிளாஸம்

D

Dating	—	கால அளவீடு, கால அளவீட்டுமுறை
Debris	—	எச்சங்கள்
Decay, Radioactive	—	கதிரியக்கச் சிதைவு
Deceleration	—	வேகத்தளர்ச்சி வீதம்
Decomposition, Chemical	—	ரசாயனச் சிதைவு
Defect, Internal	—	உட்பழுது
Defect, Mass	—	திணிவிழப்பு
Definition	—	வரையறை
Deformation	—	விகாரம்
Degaser	—	வாயு நீக்கி
Density	—	அடர்த்தி
Depleted	—	செழிப்புக் குறைந்த
Design	—	டிஸைன்
Detector	—	உணர்வு கருவி
Detonator	—	வெடி வைப்பான்
Deuterium (Deuteron)	—	டியூடிரியம் (டியூடிரான்)
Development	—	(ஃபிலிம்) கழுவுதல்
Diameter	—	விட்டம்
Diagram	—	கோட்டுப்படம்
Schematic Diagram	—	விளக்கக் கோட்டுப்படம்
Diaphragm	—	நுண்தகடு
Die	—	அச்சு
Diffusion, Gaseous	—	வாயு பரவுதல்
Dimension	—	பரிமாணம்
Diode	—	டயோடு
Diorrhoea	—	வயிற்றுப்போக்கு
Disintegration	—	சிதைவு
Displacement	—	இடப்பெயர்ச்சி
Distillation	—	காய்ச்சி வடித்தல்
Fractional Distillation	—	காய்ச்சி வடித்துப் பகுத்தல்
Distribution	—	விகிதாசாரம், வினியோகம், பங்கீடு
Dose	—	டோஸ், டோசு, அளவு
Lethal Dose	—	கூற்று அளவு

Sublethal Dose — குறை கூற்று அளவு
Supralethal Dose — மிகு கூற்று அளவு
Dosimeter — டோஸ்மானி
Pen Dosimeter / Pocket Dosimeter — பேனு டோஸ் மானி
Dosimetry — டோஸ் அளவு முறை
High Level Dosimetry — உயர் டோஸ் அளவு முறை
Drawing — நீட்டி இழுத்தல்
Dyne — டைன்

E

Eddy Current — சுழல் மின்னோட்டம்
Effects — விளைவுகள்
Delayed Effects — தாமத விளைவுகள்
Genetic Effects — சந்ததி விளைவுகள், பாரம்பரிய விளைவுகள்
Immediate Effects — உடனடி விளைவுகள்
Long Term Effects — நீண்டகால விளைவுகள்
Somatic Effects — தனக்குறு விளைவுகள்
Efficiency — திறமை
Conversion Efficiency — சக்திமாற்றத் திறமை
Thermal Efficiency — வெப்பத் திறமை
Electricity — மின்சாரம், மின்சாரவியல்
Electrode — மின்வாய்
Eleotrolysis — மின் பகுப்பு
Electron — எலக்ட்ரான்
Electronics — எலக்ட்ரானியல்
Electron Volt — எலக்ட்ரான் வோல்ட்
Element — மூலகம்
Daughter Element — சேய் மூலகம்
Parent Element — தாய் மூலகம்
Stable Element — நிலையான மூலகம்
Unstable Element — நிலையற்ற மூலகம்
Elements, Sensing — உணர் உறுப்புக்கள்
Elements, Theory of — மூலகக் கொள்கை
Ellipse — நீள்வட்டம்
Elongation — நீட்சி
Embryo — முளைக்கரு
Emergency — இக்கட்டு நிலை, அவசர நிலை
Emergency Post — அவசரநிலை அங்கம்

Enclosures — அடைப்புக் கூண்டுகள்
Energy — சக்தி
  Atomic Energy — அணுசக்தி
  Binding Energy — பிணைப்பு சக்தி
  Chemical Energy — ரசாயன சக்தி
  Intrinsic Energy — அடக்க சக்தி
  Kinetic Energy — இயங்கு சக்தி
  Nuclear Energy — கரு சக்தி
  Potential Energy — நிலை சக்தி
Energy, Principle of Conservation of — சக்தி அழிவின்மைக் கொள்கை
Energy Balance — சக்திச் சமநிலை
Energy Content — சக்தியடக்கம்
Energy Level — சக்தி மட்டம்
Engine — எஞ்சின்,
Engine, Internal Combustion — உள்ளிட தகன எஞ்சின்
Engineering — பொறியியல்
  Nuclear Engineering — அணுப்பொறியியல்
  Reactor Engineering — அணுஉலைப் பொறியியல்
Engineering Economics — பொறியியல் பொருளாதாரம்
Enriched — செழிப்பூட்டப்பட்ட, செழிப்புள்ள
Entomology — பூச்சி இயல்
Enzyme — என்சைம்
Epilation — மயிர் உதிர்தல்
Equation — சமன்பாடு
Equator, Geomagnetic — பூகாந்த மத்தியரேகை
Equilibrium — சமநிலை
  Dynamic Equilibrium — இயக்கச் சமநிலை
Equipment — சாதனம்
  Fuel Handling Equipment — எரிபொருள் கையாளும் சாதனம்
  Maintenance Equipment — பராமரிப்பு சாதனம்
Erg — எர்கு
Erythema — எரிதிமா
Exchange, Chemical — ரசாயனப் பரிமாற்றம்
Exchanger, Heat — வெப்பப் பரிமாற்றி
Exchanger, Ion — அயனிமாற்றப் படுகை
Exchanger, Mixed Bed Ion — கலப்பு அயனிமாற்றப் படுகை
Excitation — கிளர்ச்சி
Expand — விரிவடை

Expansion Bellows — விரிவடையும் துருத்திகள்
Expression — கோவை
Explosion — வெடிப்பு
Extrusion — உந்தி மாற்றுதல்

F

Factor — காரணி
Criticality Factor — வரம்புநிலை எண், வளர்ச்சி எண்
Effective Multiplication Factor — நிகரப் பெருக்கிலக்கம்
Gas Multiplication Factor — வாயுப் பெருக்க எண்
Infinite Multiplication Factor — முடிவற்ற அணு உலையின் பெருக்கிலக்கம்
Multiplication Factor — பெருக்கிலக்கம்
Factor, Plant — நிலைய எண்
Fallout — புறவீழ்வு
Global Fallout — உலகப் புறவீழ்வு
Local Fallout — உள்ளூர்ப் புறவீழ்வு
Tropospheric Fallout — மாறுகோளப் புறவீழ்வு
Fertile — வளமுடை
Fertilization — சினைப்படுத்தல்
Field — புலம்
Electric Field — மின்புலம்
Magnetic Field — காந்தப்புலம்
Film — ஃபிலிம், படலம்
Photographic Film — போட்டோ ஃபிலிம்
Fin — துடுப்பு
Finite — முடிவுள்ள
Fireball — நெருப்புப் பந்து
Fissile — பிளவுபடு
Fission, Atomic — அணுப்பிளவு
Fission, Spontaneous — சுயப்பிளவு
Fission Chamber — அணுப்பிளவு அளவு'கருவி, பிளவு அறை
Fission Fragments — பிளவு துண்டங்கள்
Fission Products — பிளவு வினைபொருள்கள்
Float — மிதவை
Flow Sheet — செய்முறை வரைப்படம்
Fluid — பாய்பொருள்
Flux — பாய்திரள்
Foetus — கருச்சிசு

Force — விசை
Attracting Force — கவர்ச்சி விசை
Centrifugal Force — சுழல் ஈர்ப்பு விசை
Gravitational Force — புவிஈர்ப்பு விசை
Nuclear Force — கருவிசை
Repulsive Force — விலக்கு விசை
Forces, Parallelogram Law of — விசைகளின் இணைகர விதி
Forces, Resolution of — விசைக் கூறுபாடு
Forging — அடித்து மாற்றல்
Formula — சூத்திரம்
Fossil — ஃபாஸில், தொல்லுயிர் எச்சம்
Freeze Drying Unit — உறைவித்து உலர்த்தும் அமைப்பு
Frequeney — அதிர்வு எண்
Friction — உராய்வு
Fuel — எரிபொருள்
Burnt Fuel — எரிவுற்ற எரிபொருள்
Conventional Fuel — வழக்கமான எரிபொருள்
Reactor Fuel — அணுஉலை எரிபொருள்
Fuel Bundle — எரிகற்றை
Fuel Cycle — எரிபொருள் வட்டம்
Fuel Element — எரிமூலகம்
Fuel Inventory — எரிபொருளீடு
Fuel Rod — எரிபொருள் தண்டு
Fume Hood — புகைக்கூண்டு
Function — செயல்வினை
Fungi — காளான்கள்
Fusion — பிணைவு

G

Gamete — பாலின செல்
Gamma Ray — காமாக் கதிர்
Gas — வாயு, வாயுப்பொருள்
Inert gas — மந்த வாயு
Gases, Kinetic Theory of — வாயுக்களின் இயக்கக் கொள்கை
Gauge, Level — திரவமட்டமானி
Gauge, Vacuum — வெற்றிடமானி
Gear — பல்லிணை
Gene — பண்பகம்
Generation — தலைமுறை

Generator — மின்ஜனனி
Generator, Van-de-Graaff — வான்டிகிராஃப் வேகவளர்த்தி
Geology — பூகர்ப்பவியல்
Geophysics — புவிபௌதிகம்
Germ — கிருமி
Germ Cell — பாலின ஸெல்
Glacial Rock — பனிப்பாறை
Glove Box — கையுறைப்பெட்டி
Gradient, Temperature — உஷ்ணநிலைச் சரிவு
Grain — படிகத் தொகுப்புகள்
Graph — வரைப்படம்
Graphite — கிராஃபைட்டு
Gravitation — புவிஈர்ப்பு
Grease — மசவு
Grinder, Centreless — மையமற்ற அரைப்பான்

H

Haemophilia — ஹெமோஃபிலியா
Haemorrhage — ரத்த நாள வெடிப்பு
Half Life — அரை ஆயுட்காலம்
Biological Half Life — உயிரியக்க அரை ஆயுட்காலம்
Effective Half Life — நிகர அரை ஆயுட்காலம்
Handling — கையாளுதல்
Canal Handling — கால்வாயில் கையாளுதல்
Remote Handling — தொலைக் கையாட்சி
Hastalloy — ஹேஸ்டல்லாய்
Hazards, Consequent — விளையூறுகள்
Heat — வெப்பம், வெப்பவியல் (உஷ்ணம்)
Specific Heat — வெப்ப எண்
Heat Transfer Area — வெப்பப்பெயர்ச்சிப் பரப்பு
Heat Transfer Property — வெப்பப்பெயர்ச்சிப் பண்பு
Heavy Water — கனநீர்
Helix — சுருள், நீள்சுருள், ஹெலிக்ஸ்
Horizontal — கிடக்கை, கிடை
Hormone — ஹார்மோன்
Horse Power — குதிரைத்திறன்
Hydrology — நீரியல்

I

Implosion Type — அமுக்கு வகை
Impulse, Electrical — மின்துடிப்பு

Incinerator — நீற்றுலை
Inclusions — பிசிர்கள்
Index, Indicator — குறியீடு
Indian Rare Earths — இந்திய அருமண் உலோகத் தொழிற்சாலை
Indian Standards Institution — இந்தியதரச்சீரமைப்பு ஸ்தாபனம்
Induction — தூண்டுதல்
Induction Coil — தூண்டு மின்சுருள்
Induction Heating — தூண்டுமின் வெப்பம், தூண்டுமின் வெப்பமுறை
Infinite — முடிவற்ற
Information — தகவல்
Infrared Rays — அகச்சிவப்புக் கதிர்கள்
Ingots — கட்டிகள்
Inlet, Input — உட்புகு
Insecticide — பூச்சிகொல்லி மருந்து
Installation — நிறுவுதல், நிறுவனம்
Instrument — கருவி
  Control Instrument — கட்டுப்பாட்டுக் கருவி
  Measuring Instrument — அளவிடு கருவி
  Monitoring Instrument — கண்காணிப்புக் கருவி
  Radiation Instrument — கதிர்வீச்சுக் கருவி
Insulation, Electrical — மின்காப்பு
Interaction — இடையீட்டுச் செயல்
Interlock — பிணைத்தலை
International Commission on Radiological Protection (ICRP) — சர்வதேசக் கதிர்வீச்சுத் தற்காப்புக் குழு
Interphase (cell) — செல் ஓய்வுநிலை
Ion — அயனி
Ionization — அயனித்தல்
Ionization chamber — அயனி அறை
Ion Pair — அயனி இரட்டை, அயனி ஜதை
Irradiation — கதிருட்டல், கதிர்த்தாக்கல்
Irradiation, Dehydro — கதிர்வீச்சு உலர்முறை
Irradiation, Whole Body — முழு உடல் கதிருட்டல்
Isotope — ஐஸோடோப்பு
  Radioactive Isotope — கதிர்வீசும் ஐஸோடோப்பு, கதிர் ஐஸோடோப்பு
  Stable Isotope — நிலை ஐஸோடோப்பு

J

Jack, Screw — ஸ்க்ரூ ஜாக்
Joule — ஜூல்
Junction — சந்திப்பு

K

Kidneys — மூத்திரக்காய்கள், சிறு நீரகங்கள்

L

Latitude — அட்சரேகை
Lattice — சட்டகம்
Leak, Leakage — கசிவு
Lens — லென்ஸ்
Leukemia — லுகிமியா
Level — மட்டம்
Level, Power — திறன்மட்டம், திறனளவு
Lever — நெம்புகோல்
Life, Plant — ஆலை பயன் தரும் காலம்
Life Span, Reduction In — ஆயுள்காலம் குறைபடல்
Limit — வரம்பு
  Acceptable Limit — ஏற்றுக்கொள்ளக்கூடிய வரம்பு
  Flux Limit — பாய்திரளின் மேல்வரம்பு
  Reactor Period Limit — அணுஉலைக்காலக் கீழ்வரம்பு
Lining — பூச்சு
Liquid — திரவம்
Lubrication — மசவு
Lung — நுரையீரல்

M

Machine — எந்திரம்
Machining — எந்திரத்தில் இழைத்தல், எந்திரக் கடைசல்
Magnox — மாக்னுக்ஸ்
Maintenance — பராமரிப்பு
Mammals — பாலூட்டிகள்
Marrow, Bone — எலும்புச்சோறு, மஜ்ஜை
Mass — பொருள் திணிவு
Mass Number — திணிவு எண், அணுத்திணிவு எண்
Master Slave Manipulator — ஏவல் பணிக் கைகள்
Material Balance — பதார்த்தச் சமநிலை

Material, Shielding — தடுப்பான்
Material, Structural — நிர்மாணப்பொருள்
Mating — புணர்ச்சி, புணர்தல்
Matter — பொருண்மை
Maximum — உச்சவரம்பு
Maximum Permissible Level — உச்சவரம்பு கதிர்வீச்சளவு
Maximum Permissible Body Burden — உச்சவரம்பு உடற்கதிரியக்கச் சுமை
Mechanics — எந்திரவியல்
Medium — ஊடகம்
Meiosis — மியோஸிஸ்
Melting — உருக்குதல்
Vacuum Melting — வெற்றிட உருக்குதல்
Membrane, Cell — ஸெல் சுவர்
Membrane, Nuclear — கரு சவ்வு
Metabolism — வளர்சிதை மாற்றம்
Metaphase (Cell) — ஸெல் கூடுநிலை
Metallurgy — உலோகவியல்
Meter — கருவி
Integrating Meter — தொகுக்கும் கருவி
Radiation Survey Meter — கதிர்வீச்சு ஸர்வேமானி
Method, Pyrometallurgical — வெப்ப உலோகவியல் முறை
Method, Pulse echo — துடிப்பு எதிரொலி முறை
Method, Statistical — புள்ளியியற் கணித முறை
Micronucleus — நுண்கரு
Microscope — நுண்பெருக்கி
Mineral — கனிப்பொருள், தாதுப்பொருள்
Minimum — கீழ்வரம்பு
Mitosis — மிட்டோஸிஸ்
Mobile — சஞ்சார
Model — மாடல்
Moderation — தணித்தல்
Moderator — தணிப்பான்
Moderating Power — தணிக்குந் திறமை
Moderating Ratio — தணிப்பான் விகிதம்
Moisture — ஈரம்
Molecule — மூலக்கூறு
Molecular Weight — மூலக்கூற்று எடை
Momentum — திணிவு வேகம்
Monitor, Air — காற்றுக் கதிரியக்கமானி

Monitor, Radiation — கதிர்வீச்சு அளவுமானி
Motion — இயக்கம்
Movement — நகர்தல்
Multiple, Integral — முழு எண் மடங்கு
Mutant — பிறழி
Mutation — பிறழ்ச்சி

N

Nausea — குமட்டல்
Neutron — நியூட்ரான்
Delayed Neutron — தாமத நியூட்ரான்
Fast Neutron — வேக நியூட்ரான்
Intermediate Neutron — இடைவேக நியூட்ரான்
Photo Neutron — ஒளி நியூட்ரான்
Prompt Neutron — உடனடி நியூட்ரான்
Slow Neutron — குறைவேக நியூட்ரான்
Thermal Neutron — வெப்ப நியூட்ரான்
Nozzle — மூக்குக் குழாய்
Converging Nozzle — குறுகு குழாய்
Nucleon — நியூக்ளியான்
Nucleus — கரு
Atomic Nucleus — அணுக்கரு
Cell Nucleus — செல் கரு
Compound Nucleus — கூட்டுக்கரு
Number, Atomic — அணு எண்
Number, Mass — திணிவு எண், அணுத்திணிவு எண்

O

Observation — காண்பு
Optics — ஒளியியல்
Order — வரிசைக்கிரமம்
Ore — தாதுப்பொருள்
Organ — உறுப்பு
Critical Organ — முக்கியச் சேத உறுப்பு, முக்கிய உறுப்பு
Internal Organ — உள்ளுறுப்பு
Organism — உயிரினம்
Multicellular Organism — பலசெல் உயிரினம்
Unicellular Organism. — ஒருசெல் உயிரினம்
Orientation — திசை நோக்கு தன்மை

Orthorhombic	—	ஆர்த்தோராம்பிக்
Oscilloscope	—	அலைவுபடமாக்கி, ஆஸில்லோஸ்கோப்
Osmosis	—	ஊடுபரவுதல்
Output	—	வெளியிடு, வெளிப்பாடு
Ovum	—	பெண் முட்டை

P

Painting, Luminous	—	ஒளிவர்ணம் பூசுதல்
Pair Production	—	இணைத்துகள் படைப்பு
Parasite	—	ஒட்டுண்ணி
Particle	—	துகள்
Alpha Particle	—	ஆல்ஃபாத்துகள்
Beta Particle	—	பீட்டாத்துகள்
Fundamental Particle	—	அடிப்படைத்துகள்
Pasteurization	—	பாஸ்டர் முறை
Pellet	—	வில்லை
Penetration	—	ஊடுருவல்
Period, Occupational	—	பணிபுரியும் காலம்
Period, Reactor	—	அணுஉலைக் காலம்
Periodic Table of Elements	—	மூலக அட்டவணை, மூலக ஆவர்த்த அட்டவணை
Periscope	—	பெரிஸ்கோப்பு
Philosophies, Safety	—	காப்புத் தத்துவங்கள்
Phosphor	—	ஃபாஸ்ஃபர், ஒளிரி, ஒளிர்வுப் பொருள்
Photon	—	ஃபோட்டான்
Photosynthesis	—	ஒளிச்சேர்க்கை
Physics	—	பௌதிகம்
Atomic Physics	—	அணு பௌதிகம், அணுவியல்
Reactor Physics	—	அணுஉலை பௌதிகம்
Solid State Physics	—	திடநிலை பௌதிகம்
Technical Physics	—	தொழில் நுட்ப பௌதிகம்
Theoretical Physics	—	கோட்பாட்டு பௌதிகம்
Picture Frame Arrangement	—	படச்சட்ட அமைப்பு முறை
Pile	—	அடுக்கு
Piston	—	பிஸ்டன்
Pitch Blende	—	பிட்ச் பிளெண்டு
Plant	—	ஆலை
Polishing Plant	—	புதுப்பிக்கும் ஆலை
Reprocessing Plant	—	பகுத்தெடுக்கும் ஆலை

Plasma — பிளாஸ்மா
Plate, Orifice — துளைத் தகடு
Plunger — செருகு தண்டு
Poison — நச்சுப் பொருள்
  Burnable Poison — எரிவுறும் நச்சுப் பொருள்
  Soluble Poison — கரையக் கூடிய நச்சுப் பொருள்
Porosity — நுண்துளைத் தன்மை
Position — தானம்
Positron — பாஸிட்ரான்
Potential Difference — மின்னழுத்தம்
Power — திறன்
Power, Specific — குறிப்பீடு திறன்
Prawn — இருல்
Precipitate — வீழ்படிவு
Pressing — அமுக்குதல்
Pressure — அழுத்தம்
  Atmospheric Pressure — வாயுமண்டல அழுத்தம்
  Vapour Pressure — ஆவி அழுத்தம்
Pressurizer — அழுத்த மூட்டிகள்
Probability — வாய்ப்பு
  Leakage Probability — தப்பிச் செல்லும் வாய்ப்பு
  Resonance Escape Probability — கிரியைப் பெருக்கத்திலிருந்து தப்பும் வாய்ப்பு
Process — செய்முறை
Processes, Centrifugal — சுழல் ஈர்ப்பு முறைகள்
Processes, Nuclear — கருச் செய்கைகள்
Processes, Physical Separation — பௌதிகப் பகுப்பு முறைகள்
Processes, Thermonuclear — வெப்பக் கருச் செய்கைகள்
Programme, Control — கட்டுப்பாட்டு நிரல்
Projectile — தாக்கு கணை
Propellants — உந்து பொருள்கள்
Prophase (Cell) — செல் வடிநிலை
Propulsion — உந்துவிசை
Protection, Radiation — கதிர்வீச்சுத் தற்காப்பு
Protein — புரதப் பொருள், புரோட்டீன்
Proton — புரோட்டான்
Protoplasm — புரோட்டோபிளாஸம்
Pulley — கப்பி, சகடை
Pulse — மின்துடிப்பு

Reflected Pulse — மீண்ட மின் துடிப்பு
Transmitted Pulse — செலுத்தப்பட்ட மின்துடிப்பு
Pump — பம்ப்பு
Canned Motor Pump — உறையிடப்பட்ட மோட்டார் பம்ப்பு
Centrifugal Pump — சுழல் வீச்சுப் பம்ப்பு
Electromagnetic Pump — மின்காந்தப் பம்ப்பு
Vacuum Pump — வெற்றிடப் பம்ப்பு

Q

Quantity — அளவை, ராசி
Quantum — இம்மி, குவான்ட்டம்
Quantum Rule — குவான்ட்டம் விதி
Quantum Theory — குவான்ட்டம் கொள்கை
Quartz — குவார்ட்ஸ்

R

Rad — ரேடு
Radiation — கதிர்வீச்சு
Electromagnetic Radiation — மின்காந்தக் கதிர்வீச்சு
Environmental Radiation — இயற்கைச் சூழ்நிலை கதிர்வீச்சு
Initial Radiation — தொடக்கக் கதிர்வீச்சு
Ionizing Radiation — அயனிக்கும் கதிர்வீச்சு
Particulate Radiation — துகள் வடிவக் கதிர்வீச்சு
Thermal Radiation — வெப்பக் கதிர்வீச்சு
Radiation Dose — கதிர்வீச்சு டோஸ்
Radioactivity — கதிரியக்கம்
Artificial Radioactivity — செயற்கைக் கதிரியக்கம்
Induced Radioactivity — தூண்டற் கதிரியக்கம்
Natural Radioactivity — இயற்கைக் கதிரியக்கம்
Residual Radioactivity — தேங்கிய கதிரியக்கம்
Radiobiology — கதிர் உயிரியல்
Radiography — கதிர்ப்படமுறை
Radioisotope — கதிர் ஐஸோடோப்பு
Radius — ஆரம்
Random — தாறுமாறான
Range — வீச்சு
Rare Earths — அருமண் உலோகங்கள்
Rays — கதிர்கள்
Alpha Rays — ஆல்ஃபாக் கதிர்கள்
Beta Rays — பீட்டாக் கதிர்கள்

Cathode Rays	எதிர் மின்வாய்க் கதிர்கள்
Gamma Rays	காமாக் கதிர்கள்
Infrared Rays	அகச் சிவப்புக் கதிர்கள்
Positive Rays	பாஸிட்டிவ் கதிர்கள்
Ultraviolet Rays	புறஊதாக் கதிர்கள்
Reaction	கிரியை
Chain Reaction	தொடர் கிரியை
Chemical Reaction	ரசாயனக் கிரியை
Endoergic Reaction	சக்தி ஏற்புக் கிரியை
Exoergic Reaction	சக்தி வெளியிடு கிரியை
Nuclear Reaction	கருக் கிரியை
Thermonuclear Reaction	வெப்பக் கருக்கிரியை
Reactivity	ரியாக்டிவிடி
Reactor, Nuclear Reactor	அணுஉலை
Boiling Water Reactor	கொதிநீர் அணுஉலை
Breeder Reactor	ஈனுலை
Converter Reactor	மாற்றுலை
Fast Reactor	வேக நியூட்ரான் அணுஉலை, வேக அணுஉலை
Gas Cooled Reactor	வாயு ஆற்றி அணுஉலை
Heterogeneous Reactor	பலபடித்தான அணுஉலை
Homogenoous Reactor	ஒருபடித்தான அணுஉலை
Intermediate Reactor	இடையின அணுஉலை
Mobile Reactor	சஞ்சார அணுஉலை
Power Reactor	அணுமின் உலை
Pressurized Water Reactor	அழுத்தநீர் அணுஉலை
Research Reactor	ஆய்வு அணுஉலை
Swimming pool Type Reactor	நீச்சல்குள அணுஉலை
Thermal Reactor	வெப்ப நியூட்ரான் அணுஉலை, வெப்ப அணுஉலை
Reactor Kinetics (Time Behaviour of a Reactor)	அணுஉலையில் நியூட்ரான்கள் காலத்துடன் மாறுபடும் விதம்
Reactor Poison	அணுஉலை நச்சுப் பொருள்
Recombination	புனரிணைவு
References	காண்புகள்
Reflector	எதிரனுப்பி
Region	பிரதேசம்
Polar Region	துருவப்பிரதேசம்

Temperate Region	—	சம சீதோஷ்ணப் பிரதேசம்
Tropical Region	—	வெப்பப் பிரதேசம்
Relative Biological Effectiveness	—	ஒப்பு திசுச்சேத எண்
Relativity, Theory of	—	சார்புநிலைக் கொள்கை
Reliable	—	நம்பகமான
Rem	—	ரெம்
Report, Hazard Evaluation	—	கதிரியக்கப் பாதுகாப்புப் பரிசீலனை அறிக்கை
Reprocessing, Aqueous	—	நீர்த்துப் பகுக்கும் முறை
Reproduction	—	இனப் பெருக்கம்
Resin	—	பிசின்
Resistance, Electrical	—	மின் தடை
Resolution	—	கூறுபாடு
Respirators	—	செயற்கைச் சுவாசினிகள்
Resultant	—	தொகு பயன், நிகர
Retardation	—	வேகத்தளர்ச்சி வீதம்
Reverse	—	பின்வாங்குதல்
Rocket, Sounding	—	விவரமறி ராக்கெட்
Rocks, Igneous	—	படிவுப் பாறைகள்
Rod	—	கோல்
Control Rod	—	கட்டுப்பாட்டுக்கோல்
Regulating Rod	—	ஒழுங்குபடுத்தும் கோல், நுட்பக்கோல்
Shim Rod	—	தோராயக் கோல்
Safety Rod	—	காப்புக் கோல்
Roentgen	—	ராண்ட்ஜன்
Rolling	—	உருளை நீட்டல்
Rotameter	—	ரோட்டாமீட்டர்
Rotting	—	அழுகுதல்
Runways	—	ஓடுபாதைகள்

S

Scaler	—	கணக்கீடு கருவி
Scattering	—	சிதறல்
Alpha Scattering	—	ஆல்ஃபாச் சிதறல்
Backscattering	—	மடக்குச் சிதறல்
Coherent Scattering	—	ஒழுங்குச் சிதறல்
Scintillator	—	ஒளிரி, ஒளிர்வு பொருள்
Scram	—	திடீர் நிறுத்தம்

Seismic Study Centre — நிலஅதிர்வு ஆய்வு நிலையம்
Self Regulation — தன்னைத்தானே ஒழுங்குபடுத்திக் கொள்ளுதல்
Sensing elements — உணர் உறுப்புக்கள்
Separation, Magnetic — காந்தப் பகுப்புமுறை
Septic — புரையோடிய
Series, Radioactive — கதிரியக்கக் குடும்பம்
Sheath — உறை
Shield — தடுப்பு
  Biological Shield — தற்காப்புத் தடுப்பு
  Thermal Shield — வெப்ப நியூட்ரான் தடுப்பு
Sickness, Radiation — கதிர்நோய்
Signal — சமிக்ஞை
  Electrical Signal — மின் சமிக்ஞை
Sintering — ஸின்டரிங்
Slag — கசடு
Solid — திடப்பொருள்
Solutions, Solid — திடக்கரைசல்கள்
Solvent — கரைப்பான்
Specialization — தனித்துவம் பெறல்
Spectrometer — ஸ்பெக்ட்ராமீட்டர்
Sperm — ஆண்விந்து
Spindle — கதிர்வடிவு
Spiral — ஸ்பைரல், மட்டச்சுருள்
Sprouting — முளைவிடுதல்
Startup — தொடங்க வைத்தல்
State — நிலை
  Ground State — தரை நிலை
  Stable State — ஸ்திர நிலை
  Unstable State — ஸ்திரமற்ற நிலை
Station, Power — மின்நிலையம்
  Atomic Power Station — அணுமின்நிலையம்
  Hydroelectric Station — நீர்மின் நிலையம்
  Thermoelectric Station — அனல்மின்நிலையம்
Stainless Steel — துருவேரு எஃகு
Sterilization — கிருமி நீக்கம்
Storage Pits — சேமிப்புக் கிடங்குகள்
Stratosphere — படிவுகோளம்
Strength — அடர்வு
Strips, Bimetal — ஈருலோகப்பட்டை

Structure — அமைப்பு, வடிவம்
Abnormal Structure — அசாதாரண வடிவம்
Crystal Structure — படிகவடிவம்
Defective Structure — பழுதுடை வடிவம்
Internal Structure — உள்ளமைப்பு
Submarine — நீர்மூழ்கிக் கப்பல்
Superheater — மிகைவெப்ப உபகரணம்
Superheated Steam — மிகைவெப்ப நீராவி
Surge, Base — அலையடி எழுச்சி
Survey — ஸர்வே
Swelling — வீக்கம்
Symbol — சின்னம், குறி
System — அமைப்பு
System, Central Nervous — மத்திய நரம்பு மண்டலம்

T

Tank, Surge — எழுச்சிக்கலன்
Telophase (Cell) — ஸெல் மறைநிலை
Television — தொலைப்படக் காட்சி
Temperature — வெப்பநிலை, உஷ்ணநிலை
Absolute Scale of Temperature — சார்பிலா உஷ்ணநிலை அளவு முறை
Kelvin Scale of Temperature — கெல்வின் உஷ்ணநிலை அளவு முறை
Test — சோதனை, சோதிப்பு
Testing, Non-destructive — சேதமில் சோதனை
Tetragonal — டெட்ராகனல்
Thermocouple — வெப்பமின்சார இரட்டை
Thermoelectricity — வெப்பமின்சாரம்
Thermometer, Clinical — ஜுரமானி
Thickness — தடிமன்
Half Value Thickness — அரைக்குறைப்புத் தடிமன்
Tenth Value Thickness — தசக்குறைப்புத் தடிமன்
Tides — கடலின் ஏற்றவற்றங்கள்
Time, Doubling — இரட்டிப்புக் காலம்
Time, Response — வினைவு காலம்
Tonne — டன்
Toxicity — நச்சுத்தன்மை
Toxic Substances, Toxins — நச்சுப்பொருள்கள்
Tracer — டிரேஸர்

Trait — குணம், பண்பு
  Hereditary Traits — பாரம்பரியப் பண்புகள்
Transfusion, Blood — ரத்தம் செலுத்துதல்
Transistor — டிரான்ஸிஸ்டர்
Transmission Towers — மின்கோபுரங்கள்
Trapping, Cold — குளிர்ப்பொறிமுறை
Trapping, Hot — உஷ்ணப்பொறிமுறை
Treatment, Heat — சூட்டுவினை
Trigger — குதிரை
Tritium — ட்ரிடியம்
Tropopause — மாற்ற நிற்பு
Troposphere — மாறுகோளம்
Tube, Pressure — அழுத்தக்குழாய்
Tube Sheets — குழாய்களைத் தாங்கும் தகடுகள்
Tumour — கழலை
Turbine — டர்பைன்
  Steam Turbine — நீராவி டர்பைன்
  Water Turbine — நீர் டர்பைன்
Turbine Blades — டர்பைன் அலகுகள்
Turbine Shaft — டர்பைன் தண்டு

U

Ultrasonics — கேளா ஒலியியல்
Unit — அலகு, யூனிட்
  Atomic Mass Unit — அணுத்திணிவு அலகு
  Electrostatic Unit — நிலைமின் அலகு
  Volumetric Unit — கனபரிமாண அலகு
Urinalysis — சிறுநீர்ப்பகுப்பு முறை

V

Vacuum — வெற்றிடம், சூன்யச் சூழ்நிலை
Valve — வால்வு
Vapour — ஆவி
Variable, Physical — பௌதிக மாறி
Vaults, Shielded — காப்பு அறைகள்
Velocity — வேகம், திசைவேகம்
  Exhaust Velocity — வெளியேறு வேகம்
Velocities, Parallelogram Law of — வேகங்களின் இணைகரவிதி
Velocity, Rate of Change of — வேகமாற்ற வீதம்

Venturi — வென்ச்சுரி
Vertical — மேல்கீழான
Vessel, Blood — ரத்தநாளம்
Virus — வைரஸ்
Viscosity — பாகுத்தன்மை
Vitamin — விட்டமின்
Volume — கனபரிமாணம்

W

Wall, Cell — ஸெல் சுவர்
Wastes — கழிவுப் பொருள்கள்
  Radioactive Wastes — கதிரியக்கக் கழிவுப் பொருள்கள்
Waste Treatment — கழிவுப் பொருள் கையாளுதல்
Watt — வாட்
Wave — அலை
  Blast Wave — பெருங்காற்று அலை
  Pressure Wave — அழுத்த அலை
  Shock Wave — அதிர்ச்சி அலை
Weevil, Rice — அரிசிப்புழு
Welding — வெல்டிங்
  Resistance Welding — மின்தடை வெல்டிங்
Work — வேலை
Workers, Occupational — அணுத்துறையில் பணிபுரிவோர்
Wrinkling — சுருக்கம் விழுதல்

X

X-rays — எக்ஸ் கதிர்கள்
X-ray Unit — எக்ஸ்கதிர் எந்திரம்

Y

Yeast — யீஸ்ட்
Yield — விளைச்சல்

Z

Zero — பூஜ்யம்
  Absolute Zero — சார்பிலாப் பூஜ்யம்

கலைச்சொற்கள்

தமிழ்—ஆங்கிலம்

அ

அகச்சிவப்புக் கதிர்கள் — Infra Red Rays
அச்சு — Die, Axis
  வார்ப்பு அச்சு — Mould for Casting
அடர்த்தி — Density
அடர்வு — Concentration, Strength
அடித்து மாற்றல் — Forging
அடுக்கு — Pile
அடைப்புக் கூண்டுகள் — Enclosures
அட்சரேகை — Latitude
அணு — Atom
அணுஉலை, உலை — Atomic Reactor, Reactor
  அழுத்த நீர் அணுஉலை — Pressurized water Reactor
  ஆய்வு அணுஉலை — Research Rcaetor
  இடையின அணுஉலை — Intermediate Reactor
  ஒருபடித்தான அணுஉலை — Homogeneous Reactor
  கொதிநீர் அணுஉலை — Boiling water Reactor
  சஞ்சார அணுஉலை — Mobile Reactor
  நீச்சல்குள அணுஉலை — Swimming Pool Reactor
  பலபடித்தான அணுஉலை — Heterogeneous Reactor
  வாயு ஆற்றி அணுஉலை — Gas Cooled Reactor
  வெப்ப (நியூட்ரான்) அணுஉலை — Thermal (Neutron) Reactor
  வேக (நியூட்ரான்) அணுஉலை — Fast (Neutron) Reactor
அணுஉலைக்கலன் — Reactor Vessel, Calandria
அணுஉலை நச்சுப்பொருள் — Reactor Poison
அணுஉலையில் நியூட்ரான்கள் காலத்துடன் மாறுபடும் விதம் — Time Behaviour of a Reactor or Reactor Kinetics
அணுஎடை — Atomic Weight
அணுஎண் — Atomic Number
அணுகுண்டு — Atom Bomb
அணுத்திணிவு அலகு — Atomic Mass Unit
அணுத்திணிவு எண் — Atomic Mass Number
அணுத்துறையில் பணிபுரிவோர் — Occupational Workers
அணுப்பிளவு — Atomic Fission, Fission
அணுப்பிளவு அளவு கருவி — Fission Chamber
அணுமின் உலை — Power Reactor

அண்டக்கதிர்கள் — Cosmic Rays
அதிர்வு எண் — Frequency
அமீபா — Amoeba
அமுக்குதல் — Compacting, Pressing
அமுக்குவகை — Implosion type
அமைப்பு — 1. Structure 2. System
 உள்ளமைப்பு — Internal Structure
அயனி — Ion
அயனி அறை — Ionization Chamber
அயனி இரட்டை, அயனி ஜதை — Ion Pair
அயனித்தல் — Ionization
அயனி மாற்றப்படுகை — Ion Exchanger
 கலப்பு அயனி மாற்றப்படுகை — Mixed Bed Ion Exchanger
அரிசிப் புழு — Rice weevil
அரிமானத் தடை — Corrosion Resistant
அரிமானம் — Corrosion
அருமண் உலோகங்கள் — Rare Earths
அரை ஆயுள்காலம் — Half Life
 உயிரியக்க அரை ஆயுள்காலம் — Biological Half Life
 நிகர அரை ஆயுள்காலம் — Effective Half Life
அரோரா — Aurora
அலகு — Unit
 அணுத்திணிவு அலகு — Atomic Mass Unit
 கனபரிமாண அலகு — Volumetric Unit
 நிலைமின் அலகு — Electrostatic Unit
அலை — Wave
 அதிர்ச்சி அலை — Shock Wave
 அமுத்த அலை — Pressure Wave
 பெருங்காற்று அலை — Blast Wave
அலையடி எழுச்சி — Base Surge
அலைவு படமாக்கி — Oscilloscope
அவசரநிலை — Emergency
அவசரநிலை அங்கம் — Emergency Post
அழிவுக்கிரியை — Annihilation
அழுகுதல் — Rotting
அமுத்தக்கலன் — Pressure Vessel
அமுத்தக் குழாய் — Pressure Tube
அமுத்தம் — Pressure
 ஆவி அமுத்தம் — Vapour Pressure
 வாயுமண்டல அமுத்தம் — Atmospheric Pressure

அழுத்தமூட்டிகள் — Pressurizers
அளவை — Quantity

ஆ

ஆண்விந்து — Sperm
ஆயுட்காலம் குறைபடல் — Reduction In Life Span
ஆரம் — Radius
ஆர்த்தோராம்பிக் — Orthorhombic
ஆலை — Plant
பகுதிதெடுக்கும் ஆலை — Reprocessing Plant
புதுப்பிக்கும் ஆலை — Polishing Plant
ஆலை பயன்தரும் காலம் — Plant Life
ஆல்ஃபாக்கதிர், ஆல்ஃபாத்துகள் — Alpha Ray, Alpha Particle
ஆவி — Vapour
ஆற்றி — Coolant
இரண்டாம் ஆற்றி — Secondary Coolant
கரிமப்பொருள் ஆற்றி — Organic Coolant
பிரதம ஆற்றி — Primary Coolant
ஆற்றி சுற்ரோட்டப்பாதை — Coolant Circuit
ஆனோடு — Anode
ஆஸில்லோஸ்கோப் — Oscilloscope

இ

இக்கட்டு நிலை — Emergency
இடப்பெயர்ச்சி — Displacement
இடையீடு, இடையீட்டுச் செயல் — Interaction
இணங்கமாறல் — Adaptation
இணைத்துகள் படைப்பு — Pair Production
இந்திய அருமண் உலோகத் தொழிற்சாலை — Indian Rare Earths
இந்தியத் தரச்சீரமைப்பு ஸ்தாபனம் — Indian Standards Institution
இம்மி — Quantum
இயக்கம் — Motion
இரட்டிப்புக் காலம் — Doubling Time
இறால் — Prawn
இனப்பெருக்கம் — Reproduction
இனவிருத்தி நிகழக்கூடிய வயது — Mean Child Bearing Age

ஈ

ஈடு செய்யப்பட்ட — Compensated
ஈரம் — Moisture
ஈருலோகப் பட்டை — Bimetallic Strips
ஈனுதல், ஈன்றல் — Breeding
ஈனுலை — Breeder, Breeder Reactor

உ

உச்ச வரம்பு — Maximum
உச்ச வரம்பு உடற்கதிரியக்கச் சுமை — Maximum Permissible Body Burden
உச்சவரம்பு கதிர்வீச்சளவு — Maximum Permissible Level
உட்கவர்தல் — Capture
உட்பழுது — Internal Defect
உட்புகு — Input, Inlet
உணர் உறுப்புக்கள் — Sensing Elements
உணர்வு கருவி — Detector
உந்தி மாற்றுதல் — Forging
உந்து பொருள்கள் — Propellants
உந்து விசை — Propulsion
உபபொருள் — Byproduct
உயிரினம் — Organism
ஒருசெல் உயிரினம் — Unicellular organism
பலசெல் உயிரினம் — Multicellular organism
உயிர் ரசாயனம் — Biochemistry
உராய்வு — Friction
உருக்குதல் — Melting
வெற்றிடத்தில் உருக்குதல் — Vacuum Melting
உருளை நீட்டல் — Rolling
உலோகவியல் — Metallurgy
உள்ளகம் — Core
உள்ளடக்கம் — Containment
உறுப்பு — 1. Component 2. Organ
உள் உறுப்பு — Internal organ
முக்கியச் சேத உறுப்பு — Critical organ
உறை — Cladding, Sheath
உறைவித்து உலர்த்தும் அமைப்பு — Freeze Drying Unit]
உஷ்ண அளவு முறை — Scale of Temperature
சார்பிலா உஷ்ண அளவு முறை — Absolute Scale of Temperature

கெல்வின் உஷ்ண அளவு முறை — Kelvin Scale of Temperature
உஷ்ணம் — Heat
உஷ்ணநிலை — Temperature
உஷ்ணநிலைக் கெழு — Temperature Coeffeciont
உஷ்ண நிலைச் சரிவு — Temperature gradient

ஊ

ஊடகம் — Medium
ஊடுபரவுதல் — Osmosis
ஊடுருவல் — Penetration

எ

எக்ஸ் கதிர்கள் — X rays
எக்ஸ்கதிர் எந்திரம் — X ray unit
எஞ்சின் — Engine
உள்ளிட தகன எஞ்சின் — Internal Combustion Engine
எண்ணிடு கருவி, எண்ணி — Counter
ஒளிர்வு எண்ணிடு கருவி — Scintillation Counter
கைகர் மல்லர் எண்ணிடு கருவி— Geiger Muller Counter
நேர்விகித எண்ணிடு கருவி — Proportional Counter
எதிரனுப்பி — Reflector
எதிரியல் துகள்கள் — Antiparticles
எதிர்மின்வாய் — Cathode
எந்திரக்கடைசல் / எந்திரத்தில் இழைத்தல் — Machining
எந்திரம் — Machine
எந்திரவியல் — Mechanics
எரிகற்றை — Fuel Bundle
எரிதிமா — Erythema
எரிபொருளீடு — Fuel Inventory
எரிபொருள் — Fuel
அணுஉலை எரிபொருள் — Reactor Fuel
எரிவுற்ற எரிபொருள் — Burnt Fuel, Spent Fuel
வழக்கமான எரிபொருள் — Conventional Fuel
எரிபொருள் தண்டு — Fuel Rod
எரிபொருள் வட்டம் — Fuel Cycle
எரிமூலகம் — Fuel Element
எரிவு — Burnup
எரிவுற்ற — Burnt
எர்கு — Erg

எலக்ட்ரானியல் — Electronics
எலக்ட்ரான் — Electron
எலக்ட்ரான் வோல்ட் — Electron Volt
எலும்புச்சோறு, எலும்பு மஜ்ஜை— Bone Marrow
எழுச்சிக் கலன் — Surge Tank
என்ஸைம் — Enzyme

ஏ

ஏவல் பணிக் கைகள் — Master Slave Manipulator

ஐ

ஐஸோடோப்பு — Isotope
  கதிர் ஐஸோடோப்பு — Radioactive Isotope, Radioisotope
  நிலை ஐஸோடோப்பு — Stable Isotope

ஒ

ஒட்டுண்ணி — Parasite
ஒப்பீட்டுமுறை — Calibration
ஒப்புத் திசுச்சேத எண் — Relative Biological Effectiveness (Efficiency)
ஒளிச்சேர்க்கை — Photosynthesis
ஒளியியல் — Optics
ஒளிவர்ணம் பூசுதல் — Luminous Painting
ஒளிரி, ஒளிர்வுபொருள் — Phosphor, Scintillator

ஓ

ஓடுபாதைகள் — Runways

க

கசடு — Slag
கடத்தல் — Conduction
கடலின் ஏற்றவற்றங்கள் — Tides
கட்டிகள் — Ingots
கட்டுப்பாடு — Control
  ஆளியக்குக் கட்டுப்பாடு — Manual control
  தானக் கட்டுப்பாடு — Position control
  தானியங்கு கட்டுப்பாடு — Automatic control
  முழுச்சுற்றுக் கட்டுப்பாடு — Closed loop control
  வெளியேறுவிகிதக் கட்டுப்பாடு— Leakage control
கட்டுப்பாட்டுக் கருவி — Control Instrument
  கட்டுப்பாட்டுக் கோல், கட்டுப்படுத்தும் கோல் — Control Rod
கட்டுப்பாட்டு நிரல் — Control Programme

கட்டுப்பாட்டு முறை	—	Control Method
கதிரியக்கக் குடும்பம்	—	Radioactive series
கதிரியக்கப் பாதுகாப்புப் பரிசீலனை அறிக்கை	—	Hazards Evaluation Report
கதிரியக்கம்	—	Radioactivity
இயற்கைக் கதிரியக்கம்	—	Natural Radioactivity
செயற்கைக் கதிரியக்கம்	—	Artificial Radioactivity
தூண்டற் கதிரியக்கம்	—	Induced Radioactivity
தேங்கிய கதிரியக்கம்	—	Residual Radioactivity
கதிரூட்டல், கதிர்தாக்குதல்	—	Irradiation
முழு உடல் கதிரூட்டல்	—	Whole Body Irradiation
கதிர்	—	Ray
அகச்சிவப்புக் கதிர்	—	Infra Red Ray
ஆல்ஃபாக் கதிர்	—	Alpha Ray
எதிர்மின்வாய்க் கதிர்	—	Cathode Ray
பாஸிட்டிவ் கதிர்	—	Positive Ray
பீட்டாக் கதிர்	—	Beta Ray
புறஊதாக் கதிர்	—	Ultraviolet Ray
கதிர்உயிரியல்	—	Radiobiology
கதிர் ஐஸோடோப்பு	—	Rodioisotope
கதிர்த் தூண்டிப் பகுக்கும் முறை	—	Activation Analysis
கதிர்நோய்	—	Radiation Sickness
கதிர்படிந்த இடம்	—	Contaminated Area
கதிர்படிந்த பொருள்	—	Contaminated Material
கதிர்படிவு	—	Contamination
நிரந்தரக் கதிர்படிவு	—	Fixed Contamination
நீக்கக்கூடிய கதிர்படிவு	—	Loose Contamination
கதிர்படிவு அளவுமானி	—	Contamination Monitor
கதிர்ப்படமுறை	—	Radiography
கதிர்வீச்சு	—	Radiation
அயனிக்கும் கதிர்வீச்சு	—	Ionizing Radiation
இயற்கைச் சூழ்நிலை கதிர்வீச்சு	—	Environmental Radiation
துகள் வடிவக் கதிர்வீச்சு	—	Particulate Radiation
தொடக்கக் கதிர்வீச்சு	—	Initial Radiation
மின்காந்தக் கதிர்வீச்சு	—	Electromagnetic Radiation
வெப்பக் கதிர்வீச்சு	—	Thermal Radiation
கதிர்வீச்சு அளவுமானி	—	Radiation Monitor
கதிர்வீச்சு உலர்முறை	—	Dehydro Irradiation
கதிர்வீச்சு டோஸ்	—	Radiation Dose
கதிர்வீச்சுத் தற்காப்பு	—	Radiation Protection

கதிர்வீச்சு ஸர்வேமானி	—	Radiation Survey meter
கதிர்வெளியிடு உட்கவர் கிரியை	—	Radiative Capture
கபாஸிடர்	—	Capacitor
கப்பி	—	Pulley
கம்ப்யூட்டர்	—	Computer
கரைப்பான்	—	Solvent
கரு	—	Nucleus
அணுக்கரு	—	Atomic Nucleus
நுண்கரு	—	Micronucleus
கூட்டுக்கரு	—	Compound Nucleus
ஸெல்கரு	—	Cell Nucleus
கருசவ்வு	—	Nuclear Membrane
கருச்சிசு	—	Foetus
கருச்செய்கைகள்	—	Nuclear Processes
வெப்பக்கருச் செய்கைகள்	—	Thermonuclear Processes
கருவி	—	Instrument, meter
அளவிடு கருவி	—	Measuring Instrument
கட்டுப்பாட்டுக் கருவி	—	Control Instrument
கணக்கிடு கருவி	—	Scaler
கண்காணிப்புக் கருவி	—	Monitoring Instrument
கதிர்வீச்சு கருவி	—	Radiation Instrument
தொகுக்கும் கருவி	—	Integrating Meter
கலோரி	—	Calorie
கற்றை	—	Beam
கழலை	—	Tumour
கழிவுப் பொருள்	—	Waste
கதிரியக்கக் கழிவுப் பொருள்	—	Radioactive Waste
கழிவுப் பொருள் கையாளுதல்	—	Waste Treatment
கன நீர்	—	Heavy Water
கனபரிமாணம்	—	Volume
கனிப்பொருள்	—	Mineral
காண்புகள்	—	1. References 2. Observations
காத்தோடு	—	Cathode
காந்தப் பகுப்புமுறை	—	Magnetic Separation
காந்தப் புட்டி	—	Magnetic Bottle
காப்பு அறைகள்	—	Shielded Vaults
காமாக் கதிர்	—	Gamma Ray
காய்ச்சி வடித்தல்	—	Distillation
காய்ச்சி வடித்துப் பகுத்தல்	—	Fractional Distillation

காரணி — Factor
கால அளவீடு — Dating
காலண்டிரியா — Calandria
காளான்கள் — Fungi
காற்றுக் கதிரியக்கமானி — Air Monitor
காற்று மண்டலம் — Atmosphere
கான்க்ரீட் — Concrete
உறுதியுடை கான்க்ரீட் — Reinforced Concrete
தகைவுக்குட்படுத்திய கான்க்ரீட் — Prestressed Concrete
கிடக்கை, கிடை — Horizontal
கிரகிப்பு — Absorption
கிராஃபைட்டு — Graphite
கிரியை — Reaction
கருக்கிரியை — Nuclear Reaction
சக்தி ஏற்புக்கிரியை — Endoergic Reaction
சக்தி வெளியிடு கிரியை — Exoergic Reaction
தொடர்கிரியை — Chain Reaction
ரசாயனக் கிரியை — Chemical Reaction
வெப்பக் கருக்கிரியை — Thermonuclear Reaction
கிரியைப் பெருக்கம் — Resonance
கிருமி — Germ
கிருமி நீக்கம் — Sterilization
கிளர்ச்சி — Excitation
கீழ்வரம்பு — Minimum
குணம் — Trait
குண்டு — Bomb
அணுகுண்டு — Atom Bomb
அதிவிளைச்சல் குண்டு — High Yield Bomb
அமுக்குவகை குண்டு — Implosion Type Bomb
கருகுண்டு — Nuclear Bomb
துப்பாக்கிவகை குண்டு — Gun Type Bomb
குதிரை — Trigger
குதிரைத் திறன் — Horse Power
குமட்டல் — Nausea
குவார்ட்ஸ் — Quartz
குவான்ட்டம் கொள்கை — Quantum Theory
குவான்ட்டம் விதி — Quantum Rule
குளிர்கலன், குளிர்விப்பான் — Condenser
குறியீடு — Indicator, Index
குறுகு குழாய் — Converging Nozzle

குறுக்கு வெட்டு — Cross Section
குழாய்களைத் தாங்கும் தகடுகள் — Tube Sheets
கூட்டுப்பொருள் — Compound
கூறு — Component
கூறுபாடு — Resolution
கூற்று அளவு — Lethal Dose
 குறை கூற்று அளவு — Sublethal Dose
 மிகு கூற்று அளவு — Supralethal Dose
கெழு — Coeffecient
 உஷ்ண நிலைக் கெழு — Thermal Coeffecient
கேளா ஒலியியல் — Ultrasonics
கையாளுதல் — Handling
 கால்வாயில் கையாளுதல் — Canal Handling
தொலைக் கையாட்சி — Remote Handling
கையுறைப் பெட்டி — Glove Box
கொதிகலன் — Boiler
கொள்கலன் — Container
கோட்டுப்படம் — Diagram
 விளக்கக் கோட்டுப் படம் — Schematic Diagram
கோல் — Rod
 ஒழுங்குபடுத்தும் கோல் — Regulating Rod
 கட்டுப்பாட்டுக் கோல் — Control Rod
 காப்புக்கோல் — Safety Rod
 தோராயக் கோல் — Shim Rod
கோவை — Expression
க்யூரி — Curie

ச

சகடை — Pulley
சக்தி — Energy
 அடக்க சக்தி — Intrinsic Energy
 அணுசக்தி — Atomic Energy
 இயங்கு சக்தி — Kinetic Energy
 கருசக்தி — Nuclear Energy
 நிலைசக்தி — Potential Energy
 பிணைப்பு சக்தி — Binding Energy
 ரசாயன சக்தி — Chemical Energy
சக்தி அழிவின்மைக் கொள்கை — Principle of Conservation of Energy
சக்திச் சமநிலை — Energy Balance
சக்தி மட்டம் — Energy Level

சக்தியடக்கம் — Energy Content
சஞ்சார — Mobile
சட்டகம் — Lattice
சந்திப்பு — Junction
சமநிலை — Equilibrium
இயக்கச் சமநிலை — Dynamic Equilibrium
சக்திச் சமநிலை — Energy balance
பதார்த்தச் சமநிலை — Material Balance
சமன்பாடு — Equation
சமிக்ஞை — Signal
சர்வதேச கதிர்வீச்சு தற்காப்புக் குழு — International Commission on Radiological Protection
சாதனம் — Equipment
எரிபொருள் கையாளும் சாதனம் — Fuel Handling Equipment
பராமரிப்பு சாதனம் — Maintenance Equipment
சார்புநிலைக் கொள்கை — Theory of Relativity
சிதறல் — Scattering
ஆல்ஃபாச் சிதறல் — Alpha Scattering
ஒழுங்குச் சிதறல் — Coherent Scattering
மடக்குச் சிதறல் — Backscattering
சிதறல் கோணம் — Angle of scattering
சிதைவு — Disintegration Decay
கதிரியக்கச் சிதைவு — Radioactive Decay
ரசாயனச் சிதைவு — Chemical Decomposition
சிதைவு மாற்றம் — Catabolism
சிறுநீரகங்கள் — Kidneys
சிறுநீர்ப் பகுப்புமுறை — Urinalysis
சினைப்படுத்தல் — Fertilization
சின்னம் — Symbol
சுய அடக்கி — Autocatalytic
சுயப்பிளவு — Autocontrol
சுயப் பெருக்கி — Spontaneous Fission
சுருக்கம் விழுதல் — Wrinkling
சுருள் — Helix
சுற்றுமுறை — Cycle
கலப்புச் சுற்றுமுறை — Dual Cycle
நேர்ச் சுற்றுமுறை — Direct Cycle
மறைமுகச் சுற்றுமுறை — Indirect Cycle
மிகுவெப்பச் சுற்றுமுறை — Superheat Cycle

சுழல் ஈர்ப்புமுறை — Centrifugal Process
சுழல் மின்னோட்டம் — Eddy Current
சூட்டுவினை — Heat Treatment
சூத்திரம் — Formula
சூழ்பொருள் — Blanket
சூன்யச் சூழ்நிலை — Vacuum
செயல்வினை — Function
செயற்கைச் சுவாசினிகள் — Respirators
செய்முறை — Process
செய் முறை வரைப்படம் — Flow Sheet
செருகு தண்டு — Plunger
செலவு — Cost
  உற்பத்திச் செலவு — Production Cost
  நிலையான செலவு — Fixed Cost
  பராமரிப்புச் செலவு — Maintenance Cost
  மாறும் செலவு — Variable Cost
  முதலீட்டுச் செலவு — Capital Cost
செழிப்புக்குறைந்த — Depleted
செழிப்பூட்டப்பட்ட — Enriched
சேதமில் சோதனை — Non-destructive Testing
சேமிப்புக் கிடங்கு — Storage Pit
சோகை — Anaemia
சோதனை, சோதிப்பு — Test

ட

டயோடு — Diode
டர்பைன் — Turbine
  நீராவி டர்பைன் — Steam Turbine
  நீர் டர்பைன் — Water Turbine
டர்பைன் அலகுகள் — Turbine Blades
டர்பைன் தண்டு — Turbine Shaft
டன் — Tonne
டிரான்ஸிஸ்டர் — Transistor
டியூடிரியம், டியூடிரான் — Deuterium, Deuteron
டிரேஸர் — Tracer
டிஸைன் — Design
டெட்ராகனல் — Tetrogonal
டைன் — Dyne
டோசு, டோஸ் — Dose
டோஸ் அளவுமுறை — Dosimetry
  உயர்டோஸ் அளவுமுறை — High Level Dosimetry

டோஸ்மானி — Dosimeter
பேனு டோஸ்மானி — Pen Dosimeter, Pocket Dosimeter
ட்ரிடியம், டிரிடியம் — Tritium

த

தகவல் — Information
தடிமன் — Thickness
அரைக்குறைப்புத் தடிமன் — Half Value Thickness
தசக்குறைப்புத் தடிமன் — Tenth Value Thickness
தடுப்பான் — Shielding Material
தடுப்பு — Shield
தற்காப்புத் தடுப்பு — Biological Shield
வெப்ப நியூட்ரான் தடுப்பு — Thermal Shield
தணிக்குந்திறமை — Moderating Power
தணித்தல் — Moderation
தணிப்பான் — Moderator
தணிப்பான் விகிதம் — Moderating Ratio
தந்துகிகள் — Capillaries
தரக்கட்டுப்பாடு — Quality Control
தலைமுறை — Generation
தனித்துவம் பெறல் — Specialization
தன்னைத்தானே ஒழுங்குபடுத்திக்கொள்ளும் — Self Regulating
தாக்குகணை — Projectile
தாதுப்பொருள் — Mineral, Ore
தாவர இயல் — Botany
தானம் — Position
தானியங்கு — Automatic
திசு — Tissue
திடக்கரைசல்கள் — Solid Solutions
திடப்பொருள் — Solid
திடீர் நிறுத்தம் — Scram
திணிவு எண் — Mass Number
திணிவிழப்பு — Mass Defect
திணிவுவேகம் — Momentum
திரவமட்டமானி — Liquid level Gauge
திரவம் — Liquid
திரவஸ்தம்பம் — Liquid Column
திறமை — Efficiency
சக்திமாற்றத் திறமை — Conversion Efficiency

வெப்பத்திறமை	—	Thermal Efficiency
திறன்	—	Power
குறிப்பீடு திறன்	—	Specific Power
திறன் வட்டம்	—	Power Cycle
துகள்	—	Particle
அடிப்படைத்துகள்	—	Fundamental Particle
ஆல்ஃபாத்துகள்	—	Alpha Particle
பீட்டாத்துகள்	—	Beta Particle
துடிப்பு எதிரொலி முறை	—	Pulse Echo Method
துடுப்பு	—	Fin
துணைநிறுத்தம்*	—	Backup
துணைப்பொருள்	—	Byproduct
துருத்தி	—	Bellows
விரிவடையும் துருத்தி	—	Expansion Bellows
துருவேரு எஃகு	—	Stainless Steel
துளைத்தகடு	—	Orifice Plate
தூண்டற்கிரியை, தூண்டல்	—	Activation
தூண்டு மின்சுருள்	—	Induction coil
தூண்டு மின் வெப்ப முறை	—	Induction Heating
தொகுபயன்	—	Resultant
தொடங்கவைத்தல், தொடக்குதல்	—	Startup
தொலைக்கையாட்சி	—	Remote Handling, Remote Control
தொலைப்படக்காட்சி	—	Television
தொல்பொருளாய்வு	—	Archaeology
தோய்தல்	—	Coagulation

ந

நகர்தல்	—	Movement
நச்சுத்தன்மை	—	Toxicity
நச்சுப் பொருள்கள்	—	Poisons, Toxins, Toxic Substances
எரிவுறும் நச்சுப் பொருள்கள்	—	Burnable Poisons
கரையக்கூடிய நச்சுப் பொருள்கள்	—	Soluble Poisons
நம்பகமான	—	Reliable
நவீன ரசவாதம்	—	Modern Alchemy
நிகர	—	Resultant, Effective
நியூக்ளியான்	—	Nucleon

* இந்த சொல் அணுஉலை நிறுத்தத்தைக் குறிக்கும் ஒரு பிரத்தியேகமான சொல்.

நியூட்ரான் — Neutron
இடைவேக நியூட்ரான் — Intermediate Neutron
உடனடி நியூட்ரான் — Prompt Neutron
ஒளி நியூட்ரான் — Photoneutron
குறைவேக நியூட்ரான் — Slow Neutron
தாமத நியூட்ரான் — Delayed Neutron
வெப்ப நியூட்ரான் — Thermal Neutron
வேக நியூட்ரான் — Fast Neutron
நிர்மாணப் பொருள் — Structural Material
நில அதிர்வு ஆய்வு நிலையம் — Seismic Study Centre
நிலை — State
தரைநிலை — Ground State
ஸ்திரநிலை — Stable State
ஸ்திரமற்ற நிலை — Unstable State
நிலைய எண் — Plant Factor
நிலையெண் — Constant
நிறுவனம், நிறுவுதல் — Installation, Establishment
நீட்சி — Elongation
நீட்டி இழுத்தல் — Drawing
நீரற்ற — Anhydrous
நீரியல் — Hydrology
நீர்த்துப் பகுக்கும் முறை — Aqueous Reprocessing Method
நீர்மூழ்கிக் கப்பல் — Submarine
நீள்சுருள் — Helix
நீள்வட்டம் — Ellipse
நீற்றுதல் — Calcining
நீற்றுலை — Incinerator
நுண்கரு — Micronucleus
நுண்ணுயிர் கொல்லி மருந்துகள் — Antibiotics
நுண்தகடு — Diaphragm
நுண் துளைத்தன்மை — Porosity
நுண்பெருக்கி — Microscope
நுரையீரல் — Lung
நெம்புகோல் — Lever
நெருப்புப் பந்து — Fireball
நேர்மின்வாய் — Anode
நோய் எதிர்ப்பொருள்கள் — Antibodies

ப

படச்சட்ட அமைப்புமுறை — Picture Frame Arrangement
படலம் — Film

படிகத் தொகுப்புகள்	—	Grains
படிதூசிமானி	—	Contamination Monior
படிவுகோளம்	—	Stratosphere
படிவுப் பாறைகள்	—	Igneous Rocks
பணிபுரியும் காலம்	—	Occupational Period
பண்பு	—	Trait, Characteristic
பாரம்பரியப் பண்பு	—	Hereditary Trait
பண்பகம்	—	Gene
பண்பகத்திரி	—	Chromosome
பம்ப்பு	—	Pump
உறையிடப்பட்ட மோட்டார் பம்ப்பு	—	Canned Motor Pump
சுழல்வீச்சுப் பம்ப்பு	—	Centrifugal Pump
மின்காந்தப் பம்ப்பு	—	Electromagnetic Pump
வெற்றிடப் பம்ப்பு	—	Vacuum Pump
பயிரியல்	—	Agriculture
பராமரிப்பு	—	Maintenance
பரிமாணம்	—	Dimension
பல்லிணை	—	Gear
பளுதூக்கி	—	Crane
பனிப்பாறை	—	Glacial Rock
பாகுத் தன்மை	—	Viscosity
பாக்டீரியா	—	Bacteria
பாய்திரள்	—	Flux
பாய் பொருள்	—	Fluid
பாரந்தூக்கி	—	Crane
பாரமானி	—	Barometer
பார்ன்	—	Barn
பாலூட்டிகள்	—	Mammals
பாஸிட்ரான்	—	Positron
பாஸ்டர் முறை	—	Pasteurization
ஃபாஸ்ஃபர்	—	Phosphor
பிசிர்கள்	—	Inclusions
பிசின்	—	Resin
பிடி	—	Clutch
மின்காந்தப்பிடி	—	Electromagnetic Clutch
பிட்ச் பிளெண்டு	—	Pitch Blende
பிணைத்தளை	—	Interlock
பிணைவு	—	Fusion
பிணைப்பு	—	Hook, Binding

பிணைப்பு விசை — Binding force
பிரதேசம் — Region
சமசீதோஷ்ணப் பிரதேசம் — Temperate Region
துருவப் பிரதேசம் — Polar Region
வெப்பப் பிரதேசம் — Tropical Region
ஃபிலிம் (போட்டோ) — Photographic Film
ஃபிலிம் கழுவுதல் — Film Development
பிளவு — Fission
பிளவு அறை — Fission Chamber
பிளவு துண்டங்கள் — Fission Fragments
பிளவு விளைபொருள்கள் — Fission Products
பிளாஸ்மா — Plasma
பிறழி — Mutant
பிறழ்ச்சி — Mutation
பின்வாங்குதல் — Reverse
பிஸ்டன் — Piston
பீட்டாத் துகள், பீட்டாக் கதிர் — Beta Particle, Beta Ray
புணர்ச்சி, புணர்தல் — Combination, Mating
புரதப் பொருள் — Protein
புரையோடிய — Septic
புரோட்டீன் — Protein
புரோட்டான் — Proton
புரோட்டோபிளாஸம் — Protoplasm
புலம் — Field
காந்தப் புலம் — Magnetic Field
மின் புலம் — Electric Field
புவி ஈர்ப்பு — Gravitation
புவி பௌதிகம் — Geophysics
புள்ளியியற் கணித முறை — Statistical Method
புறவீழ்வு — Fallout
உலகப் புறவீழ்வு — Global Fallout
உள்ளூர்ப் புறவீழ்வு — Local Fallout
மாறுகோளப் புறவீழ்வு — Tropospheric Fallout
புறவேற்றுமை — Allotropy
புனரிணைவு — Recombination
பூகர்ப்பவியல் — Geology
பூச்சி கொல்லி மருந்து — Insecticide
பூச்சியியல் — Entomology
பூகாந்த மத்தியரேகை — Geomagnetic Equator

பூஜ்யம்	—	Zero
சார்பிலாப் பூஜ்யம்	—	Absolute Zero
பெண் முட்டை	—	Ovum
பெரிஸ்கோப்பு	—	Periscope
பெருக்கிலக்கம்	—	Multiplication Factor
நிகரப் பெருக்கிலக்கம்	—	Effective Multiplication Factor
முடிவற்ற அளவுடைய அணுஉலையின் பெருக்கிலக்கம்	—	Infinite Multiplication Factor
பொருண்மை	—	Matter
பொருள் திணிவு	—	Mass
பொறியியல்	—	Engineering
அணுஉலைப் பொறியியல்	—	Reactor Engineering
அணுப் பொறியியல்	—	Nuclear Engineering
பொறியியல் பொருளாதாரம்	—	Engineering Economics
போர்டன் குழல்	—	Bourdon Tube
போர்வை	—	Blanket
ஃபோட்டான்	—	Photon
பௌதிகம்	—	Physics
அணுஉலை பௌதிகம்	—	Reactor Physics
கோட்பாட்டு பௌதிகம்	—	Theoretical Physics
திடநிலை பௌதிகம்	—	Solid State Physics
தொழில் நுட்ப பௌதிகம்	—	Technical Physics
பௌதிகப் பகுப்பு முறை	—	Physical Separation Process
பௌதிக மாறிகள்	—	Physical Variables

ம

மசவு	—	Grease, lubrication
மடக்குச் சிதறல்	—	Backscattaring
மட்டச் சுருள்	—	Spiral
மட்டம்	—	Level
திறன் மட்டம்	—	Power Level
மத்திய நரம்பு மண்டலம்	—	Central Nervous System
மயிர் உதிர்தல்	—	Epilation
மஜ்ஜை	—	Bone Marrow
மாடல்	—	Model
மாறு எண்	—	Constant
மாறி	—	Variable
மாறு கோளம்	—	Troposphere
மாற்ற நிற்பு	—	Tropopause

மிகை வெப்ப உபகரணம்	—	Superheater
மிகை வெப்ப நீராவி	—	Superheated Steam
மிட்டோஸிஸ்	—	Mitosis
மிதவை	—	Float
மியோஸிஸ்	—	Meiosis
மின் கடத்திகள்	—	Electrical Conductors
மின் கலம்	—	Battery
மின் காப்பு	—	Electrical Insulation
மின் கோபுரங்கள்	—	Transmission Towers
மின் சமிக்ஞை	—	Electrical Signal
மின்சாரம், மின்சாரவியல்	—	Electricity
மின்சுற்று	—	Electrical Circuit
பொறிக்கப்பட்ட மின்சுற்று	—	Printed Circuit
மின் தங்கி	—	Capacitor
மின் தடை	—	Resistance
மின் துடிப்பு	—	Electrical Pulse, Pulse
செலுத்தப்பட்ட மின் துடிப்பு	—	Transmitted Pulse
மீண்ட மின் துடிப்பு	—	Reflected Pulse
மின் நிலையம்	—	Power Station
அணுமின் நிலையம்	—	Atomic Power Station
அனல்மின் நிலையம்	—	Thermal Power Station
நீர்மின் நிலையம்	—	Hydroelectric Power Station
மின் பகுப்பு	—	Electrolysis
மின்பெருக்கி	—	Electronic Amplifier
மின்வாய்	—	Electrode
மின்னழுத்தம்	—	Potential Difference
மின்னேற்றம்	—	Electrical Charge, Charge
நேர் மின்னேற்றம், பாஸிட்டிவ் மின்னேற்றம்	—	Positive Charge
எதிர் மின்னேற்றம், நெகட்டிவ் மின்னேற்றம்	—	Negative Charge
மின்ஜனனி, மின்சார ஜனனி	—	Generator
மீட்சி மோதல்	—	Elastic Collision
மீட்சியிலா மோதல்	—	Inelastic Collision
முகப்பரப்பு	—	Cross section
முடிவற்ற	—	Infinite
முடிவுள்ள	—	Finite
முழு எண் மடங்கு	—	Integral Multiple
முளைக்கரு	—	Embryo

முளை விடுதல் — Sprouting
முற்றுப் பெற்ற சுற்று — Closed Loop
மூக்குக் குழாய் — Nozzle
மூத்திரக் காய்கள் — Kidneys
மூலக அட்டவணை,
 மூலக ஆவர்த்த அட்டவணை — Periodic Table of Elements
மூலகக் கொள்கை — Theory of Elements
மூலகம் — Element
 சேய் மூலகம் — Daughter Element
 தாய் மூலகம் — Parent Element
 நிலையற்ற மூலகம் — Unstable Element
 நிலையான மூலகம் — Stable Element
மூலக்கூறு — Molecule
மூலக்கூற்று உயிரியல் — Molecular Biology
மூலக்கூற்று எடை — Molecular Weight
மேல் கீழான — Vertical
மைய ஒட்டு — Centromere
மையமற்ற அரைப்பான் — Centreless Grinder
மையம் — Core

ய

யீஸ்ட் — Yeast
யூனிட் — Unit

ர

ரசவாதி — Alchemist
ரசாயனச் சிதைவு — Chemical Decomposition
ரசாயனப் பரிமாற்றம் — Chemical Exchange
ரசாயனப் பிணைப்பு — Chemical Bond
ரசாயனம் — Chemistry
 உயிர் ரசாயனம் — Biochemistry
 கதிர்வீச்சு ரசாயனம் — Radiation Chemistry
 கரிமப்பொருள் ரசாயனம் — Organic Chemistry
ரத்தச் சோகை — Anaemia
ரத்த நாளம் — Blood Vessel
ரத்த நாள வெடிப்பு — Haemorrhage
ரத்தம் செலுத்துதல் — Blood Transfusion
ராசி — Quantity
ராண்ட்ஜன் — Roentgen
ரியாக்டிவிடி — Reactivity

ரெம் — Rem
ரேடியோ வானவியல் — Radio Astronomy
ரேடு — Rad
ரோட்டா மீட்டர் — Rotameter

ல

லுகிமியா — Leukemia
லென்ஸ் — Lens

வ

வடிவம் — Structure
அசாதாரண வடிவம் — Abnormal Structure
படிக வடிவம் — Crystal Structure
பழுதுடை வடிவம் — Defective Structure
வயிற்றுப்போக்கு — Diorrhoea
வரம்பு — Limit
அணுஉலைக் கால வரம்பு — Reactor Period Limit
ஏற்றுக்கொள்ளக் கூடிய வரம்பு — Acceptable Limit
பாய்திரளின் மேல் வரம்பு — Flux Limit
வரம்புக்கடங்கிய — Subcritical
வரம்புத் திணிவு — Critical Mass
வரம்புநிலை எண் — Criticality Factor
வரம்புநிலைக்குட்பட்ட — Subcritical
வரம்புமீறிய — Supercritical
வரிசைக்கிரமம் — Order
வரைப்படம் — Graph
வரையறை — Definition
வளமுடை — Fertile
வளர்சிதை மாற்றம் — Metabolism
வளர்ச்சி எண் — Criticality Factor
வளர்ச்சி மாற்றம் — Anabolism
வளைவு — Curvature
வாட் — Watt
வாயு — Gas
மந்த வாயு — Inert Gas
வாயுக்களின் இயக்கக் கொள்கை — Kinetic Theory of Gases
வாயுநீக்கி — Degaser
வாயு பரவுதல் — Gaseous Diffusion
வாயுப்பெருக்க எண் — Gas Multiplication Factor

வாய்ப்பு	—	Probability
கிரியைப் பெருக்கத்திலிருந்து தப்பும் வாய்ப்பு	—	Resonance Escape Probability
தப்பிச்செல்லும் வாய்ப்பு	—	Leakage Probability
வாயுமண்டலம்	—	Atmosphere
வால்வு	—	Valve
வாழ்க்கைச்சுழல்	—	Life Cycle
வாழ்க்கைப் போராட்டம்	—	Struggle for Existence
வார்ப்பெடுத்தல்	—	Casting
வார்ப்பு அச்சு	—	Mould for Casting
உட்செலுத்தி வார்ப்பெடுத்தல்	—	Injection Casting
விகாரம்	—	Deformation
விகிதாசாரம்	—	Distribution
விசை	—	Force
கருவிசை	—	Nuclear Force
கவர்ச்சி விசை	—	Attracting Force
சுழல்ஈர்ப்பு விசை	—	Centrifugal Force
புவிஈர்ப்பு விசை	—	Gravitational Force
விசைகளின் இணைகரவிதி	—	Parallelogram Law of-Forces
விசைக் கூறுபாடு	—	Resolution of Forces
விட்டமின்	—	Vitamin
விட்டம்	—	Diameter
விமானந்தாங்கிக் கப்பல்	—	Aircraft Carrier
விரிவடை	—	Expand
வில்லை	—	Pellet
விவசாயத் துறை	—	Agriculture
விவரமறி ராக்கெட்	—	Sounding Rocket
விளைச்சல்	—	Yield
விளையூறுகள்	—	Consequent Hazards
விளைவுகள்	—	Effects
உடனடி விளைவுகள்	—	Immediate Effects
சந்ததி விளைவுகள், பாரம்பரிய விளைவுகள்	—	Genetic Effects
தனக்குறு விளைவுகள்	—	Somatic Effects
தாமத விளைவுகள்	—	Delayed Effects
நீண்டகால விளைவுகள்	—	Long Term Effects
விளைவுகாலம்	—	Response Time
வினியோகம்	—	Distribution
வீக்கம்	—	Swelling

வீச்சு — Range
வீழ்படிவு — Precipitate
வெடிப்பு — Explosion
வெடிவைப்பான் — Detonator
வெப்பஉலோகவியல் முறை — Pyrometallurgical Method
வெப்ப எண் — Specific Heat
வெப்பக் கொள் திறன் — Heat capacity
வெப்பச் சலன ஓட்டம் — Convection current
வெப்பநிலை, உஷ்ணநிலை — Temperature
வெப்பநிலைச் சரிவு — Temperature Gradient
வெப்பப் பரிமாற்றி — Heat Exchanger
வெப்பப் பெயர்ச்சிப் பண்பு — Heat Transfer Property
வெப்பப் பெயர்ச்சிப் பரப்பு — Heat Transfer Area
வெப்பப் பொறிமுறை — Hot Trapping
வெப்ப மின்சார இரட்டை — Thermocouple
வெப்ப மின்சாரம் — Thermoelectricity
வெப்பம், வெப்பவியல், உஷ்ணம்— Heat
வெப்பம் கடத்தும் திறன் — Thermal Conductivity
வெல்டிங் — Welding
  மின் தடை வெல்டிங் — Resistance Welding
வெளிப்பாடு, வெளிப்படு — Output
வென்ச்சுரி — Venturi
வெற்றிடமானி — Vacuum Gauge
வெற்றிடம் — Vacuum
வேகங்களின் இணைகரவிதி — Parallelogram Law of Velocities
வேகத்தளர்ச்சிவீதம் — Retardation, Deceleration
வேகமாற்றவீதம் — Rate of change of Velocity
வேகம் — Velocity
  வெளியேறு வேகம் — Exhaust Velocity
வேகவளர்ச்சிவீதம் — Acceleration
வேகவளர்த்தி — Accelerator
  வான்டிகிராஃப் வேகவளர்த்தி — Van-de-Graaff Accelerator
வேலை — Work
வைரஸ் — Virus

ஸ

ஸர்வே — Survey
ஸின்டரிங் — Sintering
ஸெரமிக் — Ceramic

செல் — Cell, Living cell
  இனவிருத்தி செல் — Reproductive Cell
  சேய் செல் — Daughter Cell
  தாய் செல் — Parent Cell
  பாலின செல் — Germ Cell, Gamete
செல் ஓய்வுநிலை — Cell Interphase
செல் சுவர் — Cell Wall, Cell Membrane
செல் கூடுநிலை — Cell Metaphase
செல் பிரிநிலை — Cell Anaphase
செல் பிரிவு — Cell Division
செல் மறைநிலை — Cell Telophase
செல் வடிநிலை — Cell Prophase
செல் விருத்தி — Cell multiplication
சைக்ளோட்ரான் — Cyclotron
சைட்டோபிளாஸம் — Cytoplasm
ஸ்க்ரூ ஜாக் — Screw Jack
ஸ்பெக்ட்ராமீட்டர் — Spectrometer
ஸ்பைரல் — Spiral

ஜ

ஜுரமானி — Clinical Thermometer
ஜூல் — Joule

ஹ

ஹார்மோன் — Hormone
ஹெமோஃபிலியா — Haemophilia
ஹெலிக்ஸ் — Helix
ஹேஸ்டல்லாய் — Hastalloy

குறிப்பு ஏடு

(INDEX)

கா : பின் வரும் தலைப்பின் கீழ்க் காண்க.

அ

அடர்த்தி (பௌதிக மாறியாக): 124
அடித்து மாற்றல் : 208
அடிப்படை : 6-23
அடிப்படைத்துகள் : 10
அதன் சக்தி : 10, 11
அதன் மின்னேற்றம் : 23
அடைப்புக் கூண்டுகள் : 198
அண்டக் கதிர்கள் : 10, 242
அணு : 25-69
அணு ஆயுதங்கள் : 325-348
ஆக்கவேலைக்கு அணு ஆயுதங்கள் : 346-348
அணுஉலை : 61
அணுஉலை - அடுப்பு உபமானம் : 3-4
அணுஉலை அமைப்பு : 94
அணுஉலை அளவிடு கருவிகள் : 123-144
அணுஉலை ஆற்றி : (கா) ‘ஆற்றி’
அணுஉலை இயக்கும் பிரிவு : 360
அணுஉலை உந்தும் ராக்கெட் : 120-121
அணுஉலை எரிபொருள் : (கா) ‘எரி பொருள்’
அணுஉலைக்கலன் (காலண்டிரியா): 102, 197
அணுஉலைக்கால இடைவெளி : 161, 163
அணுஉலைக்காலம் : 86, 87, 139
அணுஉலைகளில் ‘திறன் : 14, 104
அணுஉலை - கட்டுப்பாடு : 87-89, 146-168
அணுஉலைக் கட்டுப்பாட்டு முறை : 166
அணுஉலை சாதனங்கள் : 190-201
அணுஉலை நச்சுப்பொருள்கள் : 88, 185, 187
அணுஉலை-பொருள்கள் : 169-188
அணுஉலை முழுத்திறனில் வேலை செய்தல் : 164 [359
அணுஉலைப் பொறியியல் பிரிவு :
அணுஉலை - பொறியியல் : 93-121
அணுஉலை - பௌதிகம் 70-92
அணுஉலையில் ஐஸோடோப்பு தயாரிப்பு : 302
அணுஉலையில் தணிப்பானின் வேலை : 19
அணுஉலையில் நியூட்ரான்கள் எண்ணிக்கை காலத்தோடு மாறல் : 84-86
அணுஉலையில் நியூட்ரான் கிரியைகள் : 76-84
அணுஉலையில் வெப்ப நியூட்ரான் தலைமுறை : 83
அணுஉலையின் பயன்கள்
உந்துவிசைக்கு : 114-21
சமுத்திர சஞ்சாரத்திற்கு : 115, 116
வானஊர்திகளில் : 117
விண்வெளிப் பயணத்திற்கு : 119, 120
அணுஉலையைத் தொடக்குதல் : 159-164
அணுஉலையை நிறுத்தக் காரணங்கள் : 164

அணுஉலையை நிறுத்துதல் : 164
அணுஉலை வகைகளும் உதாரணங்களும்
- அப்ஸரா அணுஉலை : 352
- அழுத்தநீர் அணுஉலை : 105
- இடைவேக நியூட்ரான் அணு உலை : 91
- ஈனுலை : 91, 92, 225
- ஒருபடித்தான அணுஉலை : 90
- கல்பாக்கம் அணுஉலை : 354,356 357
- கரிமப்பொருள் ஆற்றி அணு உலை : 109-111
- கனநீர் அணுஉலை : 109
- கொதிநீர் அணுஉலை : 106
- தாராப்பூர் அணுஉலை : 90, 106, 206, 354, 356
- திரவ உலோக ஆற்றி அணு உலை : 112-113
- நீச்சல்குள அணுஉலை : 352
- பலபடித்தான அணுஉலை : 91
- மாற்றுலைகள் : 225
- முடிவற்ற அளவுடைய அணு உலை : 76-80
- முடிவுடைய அளவுள்ள அணு உலை : 80-84
- முதல் அணுஉலை (சிகாகோவில்) 93, 169, 190
- ராஜஸ்தான் அணுஉலை : 90, 201, 203, 206, 354, 356
- வாயு ஆற்றி அணுஉலை : 111
- வாயு ஆற்றி அணுஉலை (அதி உஷ்ணநிலை) : 112
- வெப்ப (நியூட்ரான்) அணுஉலை : 90
- வேக (நியூட்ரான்), அணுஉலை : [91
- ஜெர்லினு அணுஉலை : 353
- ஸைரஸ் அணுஉலை (கனடா-இந்தியா அணுஉலை) : 109, 199, 209, 352

அணுஎண் : 35-36
அணுக்கதிர் : 89
அணுக்கதிர்-உயிரியல் : 264-298
அணுக்கதிர் - ஐஸோடோப்புகள் : 300-324
அணுக்கதிர் - தற்காப்பு : 237-262
அணுக்கரு : 35
அணுக்கருக்கிரியை : 48
- அதன் வகைகள் : 49-50

அணுக்கருச்செய்கைகள் : 326
அணுக்கருவில் நியூட்ரான் : 37, 52
அணுக்கருவில் புரோட்டான் : 36
அணுக்கருவின் அமைப்பு : 36
அணுக்கருவின் அளவு : 50
அணுக்கனிப்பொருள் பிரிவு : 357
அணுக்கனிவளம் (இந்தியாவின்) : 351
அணுக்கொள்கைகள்
- பழங்கால இந்தியரின் : 26
- பழங்காலக் கிரேக்கர்களின் : 26, 27

அணுக்கொள்கைகளில் பொதுமை: 27
அணுகுண்டு : 61
- அமுக்குவகை அணுகுண்டு :331
- துப்பாக்கிவகை அணுகுண்டு : 330

அணுசக்தி : 13
அணுசக்திக் கமிஷன் : 351
- அதன் பணிகள் 351

அணுசக்திச் சட்டம் : 350
அணுசக்தித்துறை (நம் நாட்டில்) : 350-371
அணுசக்தியும் பொருண்மையிழப்பும் : 13, 373
அணுத்திணிவு அலகு : 28
அணுத்திணிவு எண் : 35, 37
அணுத்துறையில்
- சில முக்கிய தேதிகள் : 382-385
- பணிபுரிவோர் : 244

அணுப்பிளவு : 55-57, 327-328
அணுமாடல்
  தாம்ஸன் அணுமாடல் : 33
  ருதர்ஃபோர்டு அணுமாடல் : 34
அணுமின்கலம் : 320
அணுமின்சக்தி : 228-236
அணுமின்திட்டத்திற்கு அடிப்படை : 224
அணுமின்திட்டம் (இந்தியாவின் நீண்டகால) : 352, 353
அணுமின்நிலையம் : 14
  அதன் அவசியம் : 228-230
  இந்தியாவில் அதன் எதிர்காலம் : 236
அணுமின்நிலையம் - அனல் மின் நிலையம் ஒப்பிடுதல் : 203-204, 230-231
அணுவில் எலக்ட்ரான்கள் : 32
அணுவின் அமைப்பு : 37-38
அணுவின் அளவு : 50
அணுவின் சின்னம் : 40-41
அணுவின் மின்குணம் : 29
அணுவெடிப்பு : 326
அணுவெடிப்பு உளவு நிலையம் :368
அதிஉயர ஆராய்ச்சி நிலையம் : 367-368
அதிசக்தி ஆயுதங்களின் விளைவுகள் : 339
அதிர்ச்சி அலை : 326
அப்ஸரா அணுஉலை : 352
  அதன் எரி மூலகம் : 214
அமுக்குதல் : 209
அமுக்குவகை அணுகுண்டு : 331
அமைப்பு
  அணுஉலையின் அமைப்பு : 94
  அணுவின் அமைப்பு : 37, 38
  (அணுக்) கருவின் அமைப்பு : 36
  அழுத்தக்குழாய் அமைப்பு : 100
  கதிர்வீச்சுக் கருவிகளின் அமைப்பு : 138
  காற்று மண்டல அமைப்பு : 340, 341
  கீழே இறங்கும் அமைப்பு : 118
  ட்யூடிரியம் அணுவின் அமைப்பு: 40
  ட்ரிடியம் அணுவின் அமைப்பு : 40
  நீராவி டர்பைனின் அமைப்பு: 195
  படச் சட்ட அமைப்பு : 214
  படிகத் தொகுப்புகளின் அமைப்பு (யுரேனியத்தின்): 220
  பெரில்லியம் அணுவின் அமைப்பு : 38
  லிதியம் அணுவின் அமைப்பு : 38
  ஹீலியம் அணுவின் அமைப்பு : 38
  ஹைடிரஜன் அணுவின் அமைப்பு : 38
அயனி : 132, 133
அயனி அறை : 138, 139
  ஈடு செய்யப்பட்ட அயனி அறை: 139
அயனி அறைப்பகுதி : 138
அயனி இரட்டை (அயனி ஜதை) : 133–135
  அதை உண்டாக்கத் தேவையான சக்தி : 241
  அதன் எண்ணிக்கை மின்னழுத்தத்துடன் மாறல் : 135
அயனித்தல் : 132, 133
அயனிப் பரிமாற்றிகள் : 101
அயனியின் மின்னேற்றம் : 23
அயனி ஜதை : (கா) அயனி இரட்டை
அயோடின் 131இன் கதிரியக்கச் சுமை : 247
அயோடினும் தைராய்டு சுரப்பியும் : 294, 316

அரிமானத்தடை : 183
அரிஸ்டாட்டில் : 27
அருமண் உலோகத் தொழிற்சாலை (இந்தியாவின்) : 358
அரை ஆயுள் காலம் : 44–45, 241, 301
  உயிரியக்க அரை ஆயுள் காலம்: 246
  சில இயற்கை ஐஸோடோப்புகளுக்கு : 301
  சில செயற்கை கதிர் ஐஸோடோப்புகளுக்கு : 303
அரைக் குறைப்புத் தடிமன் : 248
  சில தடுப்பான்களுக்கு : 249
அரோரா : 336
அலகு
  அணுத்திணிவு அலகு : 28
  இயக்கவியலில் அலகு : 14
  கதிர்வீச்சு அலகு : 240–243
  நிலைமின் அலகு : 22, 23
  மின்னேற்றத்தின் அலகு : 22-23
அலமோகார்டோ : 325
அலுமினியம் (எரிபொருள் உறையாக) : 96, 111, 184
அலை
  அதிர்ச்சி அலை : 326
  அழுத்த அலை : 326
  பெருங்காற்று அலை : 326
அலையடி எழுச்சி : 337
அவசரநிலைக் கேந்திரம் : 363
அவாகாட்ரோ எண் : 376
அழுத்த அலை : 326
அழுத்தக் கலன் வகை அணு உலை: 99, 105
அழுத்தக் குறைவும் ஆற்றியின் வேகமும் : 99
அழுத்தக் குழாயின் அமைப்பு : 100
அழுத்தக் குழாய் வகை அணு உலை : 99, 105
அழுத்தத்தை அளத்தல் : 127-128
அழுத்தநீர் அணுஉலை : 105
அழுத்தமூட்டிகள் : 100
அளவிடு கருவியைத் திட்டமிடுதல் : 160
அளவு
  அணுவின் அளவு : 50
  கருவின் அளவு : 50
அளவு முறைகள்
  அழுத்த அளவு முறை : 127-128
  உஷ்ணநிலை அளவு முறை : 124–126
  உயர்டோஸ் அளவு முறை : 259
  உடலில் உள்ள கதிரியக்க அளவு முறை : 257
  கதிர்வீச்சு அளவு முறை : 255
  கால அளவு முறை : 304, 332
  கெல்வின் உஷ்ணநிலை அளவு முறை : 16
  சார்பிலா உஷ்ணநிலை அளவு முறை : 16
  திரவமட்ட அளவு முறை : [131-132
  பாய் பொருள் ஓட்ட வீத அளவு முறை : 128-131
அறை
  அயனி அறை : 138, 139
  ஆட்சி அறை : 201
அனல்மின் நிலையம்–அணுமின் நிலையம் ஒப்பிடுதல் : 203-204, 230-231
அனல்மின் நிலையம் : 12
  இந்தியாவில் அனல்மின் நிலையம் : 354, 356
அனுக்ஸிமாண்டர் : 26
அனுக்ஸிமேனஸ் : 26

(ஆ)

ஆக்க வேலைக்கு அணு ஆயுதங்கள் : 346–348
ஆக்டினியக் குடும்பம் : 46
ஆக்டினியம் கண்டுபிடிப்பு : 41

ஆக்ஸிஜன் அணுவின் திணிவு : 28
ஆக்ஸிஜன் சுவாசினிகள் : 251
ஆகாயவிமானக் கொள்கை : 167
ஆட்சி அறை : 201
ஆட்டோ ஹான் : 56
ஆய்வு அணுஉலைகள்
அவற்றின் பயன்கள் : 354
இந்தியாவில் உள்ளவை : 352-355
ஆயுட்காலம் குறைபடல் : 240
ஆயுட்காலம் பாதிக்கப்படல்
பல்வேறு காரணங்களால் : 262
ஆர்கான் - 41இன் கதிரியக்கச் சுமை : 247
ஆர்பஸ் : 111
ஆரம்ப இடைவெளி : 161
ஆல்ஃபாக்கதிர் (ஆல்ஃபாத் துகள்) : 42
அயனிக்கும் விதம் : 133
ஊடுருவும் திறன் : 248
நைட்டிரஜனுடன் கிரியை புரிதல் : 48, 49
மின்னேற்றம் : 23, 43
ஆல்ஃபாச் சிதறல் சோதனை : 33, 34
ஆல்ஃபாச் சிதைவு : 45, 46
ஆல்ஃபா வெளியிடு கிரியை : 55
ஆவியழுத்தத்தால் உஷ்ண நிலையை அளத்தல் : 125
ஆளியக்குக் கட்டுப்பாடு : 147
ஆற்றி : 97–101, 177–181
திரவநிலை ஆற்றி : 179
வாயுநிலை ஆற்றி : 178–179
ஆற்றிப் பம்ப்பின் அமைவிடம் : 191
ஆற்றிப் பம்ப்புகள் : 191–194
ஆற்றியாக
உருக்கிய உப்புக்கள் : 181
கனநீர் : 97, 180 [181
கரிமப்பொருள் : 97, 109–111,
கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு : 97, 179
காற்று : 178
நீர் : 97, 179–180
பொட்டாசியம் : 97
ஸோடியம் : 97, 112, 180
ஸோடிய - பொட்டாசியக் கலவை : 97, 112, 180
ஹீலியம் : 97, 179
ஹைடிரஜன் : 179
ஆற்றியின் பண்புகள் : 177, 178
ஆற்றியின் வேகமும் அழுத்தக் குறைவும் : 99
ஆறிய எரிபொருள் : 224

இ

இடப்பெயர்ச்சி : 7
இடையீட்டுச் செயல்கள் : 21, 53-56
இடைவெளி [161, 163
அணுஉலைக்கால இடைவெளி :
ஆரம்ப இடைவெளி : 161
எண்ணிடு கருவி இடைவெளி : 161, 163
திறன் இடைவெளி : 161
இடைவேக நியூட்ரான் : 52, 91
இடைவேக (நியூட்ரான்) அணு உலை : 91
இண்டியன் பாயின்ட் : 106
இணங்கமாறல் : 295
இந்திய அணுத்துறையின் வளர்ச்சி : 350-371
இந்திய அருமண் உலோகத் தொழிற்சாலை : 358
இந்தியத் தரச்சீரமைப்பு ஸ்தாபனம் : 361
இந்திய தேசீய விண்வெளி ஆராய்ச்சிக் கமிட்டி : 369
இந்தியாவில்
அணுக்கொள்கை : 26

அணுமின் உலைகள் 354-357
அணுமின் நிலையங்களின் எதிர்காலம் : 236
ஆய்வு அணுஉலைகள் : 352-355
தோரிய வளம் : 357
நீண்டகால அணுமின் திட்டம் : 352, 353
நீர்மின்சார நிலையம் : 229, 230
யுரேனிய வளம் 357
இந்தியாவின் அணுக்கனிவளம் : 351
இயக்கம்
அதன் வகைகள் : 7
சுற்றியக்கம் : 7
நேர்கோட்டியக்கம் : 7
இயக்கவியல் அலகுகள் : 14
இயக்கவியலில் மோதல் : 21
இயங்கு சக்தி : 9, 10, 12
இயங்கு சமநிலை : 18
இயற்கைக் கதிர்ஐஸோடோப்புகள் : 301
இயற்கையில் கதிரியக்கம் : 242
அதன் அளவு : 243
இரட்டிப்புக் காலம் : 227
இழுத்து நீட்டல் : 208
இனப்பெருக்கம் : 266
இனவிருத்தி நிகழக்கூடிய வயது : 245
இனவிருத்தி செல்கள் : 239

ஈ

ஈருலோகப் பட்டை : 124, 125
ஈன்விகிதம் : 226
ஈன்றல் : 91, 92, 225
ஈன்றல் லாபம் : 92
ஈனுலைகள் : 91, 92, 225
ஈனுலைகளைத் துவக்குதல் : 226

உ

உச்சவரம்பு உடற்கதிரியக்கச் சுமை : 246
சில பொருள்களுக்கு : 247
உச்சவரம்பு கதிர்வீச்சளவு : 244, 245
உட்செலுத்து வார்ப்பு முறை : 216, 217
உடலியல் ஒழுங்கீனங்கள் : 290
உடலிலுள்ள கதிரியக்கத்தை அளத்தல் : 257
உடலினுள் கதிர்வீசும் பொருள்கள் : 243
உடற்கதிரியக்கச்சுமை : 246
உடனடி விளைவுகள் (கதிர் வீச்சின்) : 239, 283
உணவு பதப்படுத்தலும் கதிர் வீச்சும் : 296
உந்தி மாற்றல் : 208
உந்து பொருள்கள் : 119-120
உந்துவிசை அணுஉலைகள் : 114-121
உயர்டோஸ் அளவு முறை : 259
உயிரியக்க அரை ஆயுள்காலம் : 246
உயிரியல் பிரிவு : 362
உயிரின் வளர்ச்சி : 266
உருக்குதல் : 208
வெற்றிட உருக்குமுறை : 209, 211
உருக்கிய உப்புக்கள் (ஆற்றியாக) : 181
உலோகவியல் பிரிவு : 359
உள்எரி எஞ்சின் : 114
உள்ளகத்தில் கட்டுப்பாட்டுக் கோல்கள் : 155
உள்ளடக்கி : 112, 197
உற்பத்திச் செலவு : 230
அதைக் கணக்கிடல் : 233-234
அதைக் குறைக்கும் முறைகள் : 235.
உறுப்பு
நிர்மாண உறுப்பு : 197

முக்கியச் சேத உறுப்பு : 246, 294
உறை : (கா) 'எரிபொருள் உறை'
உறையிடப்பட்ட மோட்டார் பம்ப்பு : 192
உறையின் அவசியம் : 183
உறைவித்து உலர்த்தும் அமைப்பு : 364
உஷ்ணநிலை (மாறி) : 124
உஷ்ணநிலை அளத்தல்
ஆவியழுத்தம் கொண்டு : 125
மின்தடை மாற்றத்தால் : 126
வெப்ப மின்சார இரட்டையால் : 126
உஷ்ணநிலை அளவுமுறைகள் : 124-126
உஷ்ணநிலைக் கெழு : 106
உஷ்ணநிலையும் ரியாக்டிவிடியும் : 106
உஷ்ணப்பொறி முறை : 113

ஊ

ஊடுருவும் திறன்
ஆல்ஃபாத்துகள் : 248
பீட்டாத்துகள் : 248
காமாக்கதிர் : 248

எ

எக்ஸ் கதிர் கண்டுபிடிப்பு : 41, 237
எக்ஸ் கதிர் தயாரித்தல் (மின்சக்தியின்றி) : 319
எக்ஸ் கதிர்ப்பட முறை : 222
எஃகு (தடுப்பானுக) : 90, 103, 188, 249
எச்சங்கள் : 333
எடையும் விசையும் : 8
எண்
அணு எண் : 35, 36
அணுத்திணிவு எண் : 35, 37
அவாகாட்ரோ எண் : 376
ஒப்பு திசுச் சேத எண் : 242
நிலைய எண் : 234
போல்ட்ஸ்மன் நிலையெண் : 17
எண்களைப் 10இன் வர்க்கமாகக் குறிப்பிடல் : 11
எண்ணிடு கருவி இடைவெளி : 161, 163
எண்ணிடு கருவிகள் : 138
எதிர்மின்வாய்க் கதிர்கள் : 30
எதிரனுப்பி : 89
எதிரனுப்பியாக
கிராஃபைட்டு : 89
நீர் : 89
பெரில்லியம் : 89
எதிரியல் துகள்கள் : 13
எந்திரக் கடைசல் : 209
எந்திரவியல் : 6
எம்படாகல்ஸ் : 27
எர்கு : 9
எரிதண்டின் பரிமாணங்கள் : 212
எரிகற்றை : 213
தாராப்பூர் உலையின் எரிகற்றை : 214, 215
ராஜஸ்தான் உலைக்கான எரிகற்றை : 214
எரிதிமா : 240, 283
எரிபொருள் : 93-96, 170-177 203-227,
திரவ எரிபொருள் : 207
ராக்கெட் எரிபொருள் : 119
எரிபொருள் ஆறுதல் : 224
எரிபொருள் உறை : 96, 183-185
எரிபொருள் உறையாக
அலுமினியம் : 96, 111, 184
கார்பன் எஃகு : 184
டான்டலம் : 184
துருவேறு எஃகு : 96, 112, 184
நயோபியம் : 184
பெரில்லியம் : 111, 184
மக்னீசியம் : 111

ஜிர்க்கலாய் : 96, 185
எரிபொருள் தயாரிப்புத் தொழிற் கூடம் : 358
எரிபொருள் பகுப்பு : 223, 224
எரிபொருள் வடிவங்கள் : 95
எரிபொருள் வட்டம் : 224-227
எரிபொருளாகப் பயன்படும் மூலகங்கள் : 170
எரிபொருளின் குணங்கள் : 170
எரிபொருளீடு : 204
எரிபொருளூட்டும் சாதனம் : 200
எரிமூலகச் சோதிப்பு முறைகள் : 217-222
எரிமூலகம்
அதன் பாகங்கள் : 96
அப்ஸரா உலையின் எரிமூலகம் : 214
இயற்கை யுரேனிய எரிமூலகம் : 209, 213
ஸைரஸ் அணுஉலையின் எரிமூலகம் : 209
குழாய் வடிவத்தில் எரிமூலகம் : 212–213
யுரேனிய ஆக்ஸைடு எரிமூலகம் : 213
எரிமூலகம் தயாரித்தல் : 208–217
எரிமூலகம் பற்றிய ஆராய்ச்சி : 215–216
எரிவு : 206
எலக்ட்ரான் : 30
அணு அமைப்பில் எலக்ட்ரான் : 32
திணிவு : 31
பாஸிட்ரானுடன் கிரியை புரிதல்: 13
மின்னேற்றம் : 23 31
வியாபகம் : 31
எலக்ட்ரான் உட்கவர்தல் : 44
எலக்ட்ரான் வோல்ட் : 10
மில்லியன் எலக்ட்ரான் வோல்ட்: [10
எலக்ட்ரானிக் கார்ப்பரேஷன் : ஆஃப் இந்தியா : 361
எலக்ட்ரானியல் கமிட்டி : 361
எலக்ட்ரானியல் பிரிவு : 360
எழுச்சிக் கலன் : 100
என். எஸ். ஸவன்னு : 117
என்ஸைம்கள் : 271

ஏ

ஏவல்.பணிக்கைகள் : 198
ஏற்றுக் கொள்ளக் கூடியவரம்பு
எரிமூலகப் பழுதுகளில் : 220
கதிர்வீச்சு அளவில் : 245
ஏ.ஜி.ஆர் : 112

ஐ

ஐடாஹோ : 105, 106, 109, 111, 112
ஐரீன் க்யூரி : 51
ஐஸோடோப்பு : 5,39,300–324
கதிரியக்க ஐஸோடோப்பு : 43
நிலையான ஐஸோடோப்பு : 43
ஐஸோடோப்பு தயாரித்தல்
அணுஉலைகளில் : 302
வேகவளர்த்திகளில் : 302
ஐஸோடோப்புகளைப் பிரித்தல் : 40
ஐஸோடோப்புப் பிரிவு : 366
ஐஸோடோப்பு பற்றிய அனுமானம் : 39

ஒ

ஒப்பு திசுச் சேத எண் : 242
ஒப்பீட்டு முறைகள் : 255
ஒருபடித்தான அணுஉலை : 90
ஒளிச்சேர்க்கை : 307
ஒளிசக்தி : 9, 10, 12
ஒளி நியூட்ரான்கள் : 162
ஒளியியல் : 6
ஒளிர்வு கருவிகள் : 141
ஒளிரிகள் : 141
ஒழுங்குச் சிதறல் : 32

ஒளிவர்ணம் பூசும்துறை : 238
ஒழுங்குபடுத்தும் கோல்கள் : 152, 154 - 155

ஓ

ஓட்டவீதம் (பாய் பொருள்களின்): 124, 128 -131
ஓடுபாதைகள் : 118
ஓய்வுநிலை (செல்லின்) : 267

க

க்ரூக்ஸ் : 29
க்யூரி தம்பதியர் : 41, 238
க்யூரி (கதிரியக்க அலகு) : 240
கட்டுப்பாட்டில் கம்ப்யூட்டர்கள் : 168
கட்டுப்பாட்டுக் கோல்கள் : 88, 151, 152
உள்ளகத்தில் இவற்றின் அமைவிடம் : 155
கட்டுப்பாட்டுக் கருவி : 139, 150
கட்டுப்பாட்டு நிரல் : 157, 158
கட்டுப்பாட்டுப் பொருளாக
கடோலினியம் : 187
காட்மியம் : 88, 151
போரான் : 88, 151
ஹாஃப்னியம் : 186
கட்டுப்பாட்டு வகைகள் : 147
கட்டுப்பாடு
அணுமின் நிலையக் கட்டுப்பாடு : 156-157
அதன் அவசியம் : 146
ஆளியக்குக் கட்டுப்பாடு : 147
தானியங்கு கட்டுப்பாடு : 147
நீர்மட்டக் கட்டுப்பாடு : 147
பாய்திரள் கட்டுப்பாடு : 159
புறக் கட்டுப்பாடு : 157
முழுச் சுற்றுக் கட்டுப்பாடு : 149
வெளியேறு விகிதக் கட்டுப்பாடு : 89
கட்டுப்பாட்டைத் திட்டமிடல் : 156
கண்காணிப்புக் கருவி : 139
கண்டுபிடிப்பு
ஆக்டினியம் : 41
எக்ஸ் கதிர் : 41, 238
கதிரியக்கம் : 41, 238
தோரியம் : 41
பொலோனியம் : 41, 238
ரேடியம் : 41, 238
கணுதர் : 26
கதிர்
அண்டக்கதிர் : 10, 242
ஆல்ஃபாக்கதிர் : 42
எதிர்மின்வாய்க்கதிர் : 30
காமாக் கதிர் : 42, 45
பாஸிட்டிவ் கதிர் : 32
பீட்டாக் கதிர் : 42
மின்காந்தக் கதிர் : 43, 45, 132
மூவகைக் கதிர் : 43, 45
கதிர்ஐஸோடோப்பு
இயற்கைக் கதிர்ஐஸோடோப்பு : 301
செயற்கைக் கதிர்ஐஸோடோப்பு: 303
கதிர்ஐஸோடோப்பு உற்பத்தி : 302
கதிர்ஐஸோடோப்பு பயன்படும் துறைகள்
தொழில் துறையில் : 310 - 316
நீரியலில் : 308
மருத்துவத் துறையில் : 316 - 318
விஞ்ஞானத் துறையில் : 305 - 307
வேளாண்மைத் துறையில் : 318-319
கதிர் ஐஸோடோப்பின் எதிர் காலம் : 324
கதிர் தூண்டிப் பகுக்கும் முறை : 305, 322

கதிர் நோய் : 286
கதிர் நோய்க்குக் காரணங்கள் : 288 - 292
கதிர் நோயும் கூற்று அளவும் : 287
கதிர்ப்பட முறை : 222, 315, 316
கதிர்ப்பட காமிரா : 316
கதிர்படிதல் : 197
கதிர்படிந்த இடம் : 197
கதிர்படிந்த பொருள் : 197
கதிர்மருத்துவக் கேந்திரம் : 367
கதிர்வடிவு : 268
கதிர்வீச்சு
துகளுருவக் கதிர்வீச்சு : 132
தொடக்கக் கதிர்வீச்சு : 326, 333
தேங்கிய கதிர்வீச்சு : 326, 333
மின்காந்தக் கதிர்வீச்சு : 43, 45 132
கதிர்வீச்சு அலகுகள் : 240-243
கதிர்வீச்சு அளவுமானி : 255, 256 257
கதிர்வீச்சு அளவுமுறைகள் : 255
கதிர்வீச்சு உணர்கருவி : 134
கதிர்வீச்சு உலர்முறை : 297
கதிர்வீச்சுக் கருவிகள் : 132-141
அவற்றின் அமைப்பு : 138
கதிர்வீச்சு தற்காப்புக் குழு (சர்வ தேச) : 244
அதன் அறிக்கை : 244-247
கதிர்வீச்சு பாதுகாப்புக் குழு : 259
அதன் கடமைகள் : 259, 260
கதிர்வீச்சு ஸர்வேமானி : 255
கதிர்வீச்சும்
உணவு பதப்படுத்தலும் : 296
கருச்சிசுவும் : 286
கரு முட்டையும் : 284, 285
குருதி செல்களும் : 283
சுண்டெலி இறப்பும் : 281
தாவர இயலும் : 294, 295
பண்பகமும் : 273-278
புற்றுநோயும் : 292-294
பூச்சி இயலும் : 295
விளையும் தீங்குகளும் : 238-240, 279
செல்லும் : 271-273
கதிர் வெளியிடு கிரியை : 55
கதிரியக்க ஐஸோடோப்பு : 43
கதிரியக்கக் கழிவுபொருள் : 253
கதிரியக்கக் காப்புப் பிரிவு : 363
கதிரியக்கக் குடும்பங்கள் : 46
கதிரியக்கச் சிதைவு : 43
அதன் வகைகள் : 45
கதிரியக்கச் சுமை : 246
உச்சவரம்பு உடற் கதிரியக்கச் சுமை : 246
கதிரியக்கப் படிவுமானி : 256
கதிரியக்கப் பாதுகாப்புப் பரிசீலனை அறிக்கை : 261
கதிரியக்கம்
இயற்கையில் அதன் அளவு : 243
உடலில் அதன் அளவு : 243
தூண்டற் கதிரியக்கம் : 110, 178
கதிரூட்டல் : 304
முழு உடல் கதிரூட்டல் : 290
கபில முனிவர் : 26
கம்ப்யூட்டர் : 367
கட்டுப்பாட்டுத்துறையில் கம்ப்யூட்டர் : 168
கரிமப்பொருள் ஆற்றி அணுஉலை : 109-111
கரிமப்பொருள் (ஆற்றியாக) : 97, 109-111, 181
கரு
அணுக்கரு : 35
கூட்டுக்கரு : 63
நுண்கரு : 278
செல்கரு : 265

கருக்கிரியை : 48
அதன் வகைகள் : 49, 50
கருக்கிரியைகளுக்கு விளக்கம் : 63
கருச்சிசுவும் கதிர்வீச்சும் : 286
கருச்செய்கைகள் : 326
கருசக்தியும் ரசாயன சக்தியும் : 327
கருசவ்வு : 268
கருமுட்டை : 266, 271
கருமுட்டையும் கதிர்வீச்சும் : 284
கருமை (பிலிமின்) : 258
கருவி
எண்ணிடு கருவி : 138
ஒளிர்வு கருவி : 141
கட்டுப்பாட்டுக் கருவி : 139, 150
கண்காணிப்புக் கருவி : 139
கதிர்வீச்சுக் கருவி : 132-141
கைகர்-முல்லர் கருவி : 138, 140
தொகுக்கும் கருவி : 139
நேர்விகித எண்ணிடு கருவி : 138, 140
பிளவு அறை அளவு கருவி : 140
கருவிசை : 64
கருவின் திரவத்துளி மாடல் : 63-65
கருவெடிப்பு : 326
அதில் வெளியாகும் சக்தி வகைகள் : 327
கல்பாக்கம் அணுஉலை : 354, 357
கலப்பு அயனிமாற்றப்படுகை : 199
கலப்புச் சுற்றுமுறை : 107
கலோரி : 12
கலன்
அணுஉலைக் கலன் : 102, 197
எமுச்சிக் கலன் : 100
குளிர் கலன் : 104, 195-196
கொதி கலன் : 190, 194
கொள்கலன் : 131
கழலை : 292
கழிவுகளைக் களைதல் : 253
திடநிலைக் கழிவுகள் : 255
திரவநிலைக் கழிவுகள் : 254
வாயுநிலைக் கழிவுகள் : 254
கழிவுப்பொருள் கையாளும் பிரிவு : 362-363
கனடா இந்தியா அணுஉலை : (கா) ‘ சைரஸ் அணுஉலை ’
கனநீர்–
ஆற்றியாக : 97, 180
தணிப்பானாக : 74, 182
கனநீர் அணுஉலைகள் : 109
கனநீர் உற்பத்தி : 359
கனநீர் தயாரித்தல் : 182, 183
கனநீர் புதுப்பிக்கும் ஆலை : 359
கனமூகங்களின் கருக்கள் : 63, 64
கனமூலகம் : 48
கனிதலைத் தாமதப்படுத்தல் : 297
காட்மியம் (கட்டுப்பாட்டுப் பொருள்) : 88, 151
காண்டு : 213
காந்தப் பகுப்பு முறை : 173
காந்தப் புட்டி : 69
காப்புக் கோல்கள் : 152, 153, 185
காப்புத் தத்துவங்கள் : 165, 167
காமாக் கதிர் : 42, 45
காமாக் கதிர் அயனிக்கும் முறை : 133
காமாத் தோட்டம் : 362
காய்ச்சி வடித்தல் : 182
காயம் ஈடு செய்யப்படல் : 266
கார்பன் எஃகு (உறையாக) : 184
கார்பன்-14
கால அளவீட்டு முறை : 307, 308
உடலுக்குத் தரும் டோஸ் : 243
கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு (ஆற்றியாக) : 97, 179
கார்பன்-நைட்ரஜன் வட்டம் : 67
காரீயக் கண்ணாடிகள் : 198

காரீயம் (தடுப்பாக) : 90, 188, 249
கால்டர் ஹால் : 204, 225
கால்வாயில் கையாளுதல் : 199
காலண்டிரியா : 102, 197
காலம்
அரை ஆயுள்காலம் : 44, 45, 241, 301
பணிபுரியும் காலம் : 244
பயன்தரு காலம் : 234
கால அளவீட்டு முறை : 304, 321
காற்று (ஆற்றியாக) : 178
காற்றுக் கதிரியக்கமானி : 257
காற்று மண்டல அமைப்பு : 340-341
காற்று மண்டலமும் நெருப்புப் பந்தும் : 341-343
காற்று வெடிப்பு : 334
கான்க்ரீட்
அணுஉலைக்கலனில் : 102
தடுப்பானுக : 90, 103, 188, 249, 250
கிராஃபைட்டு
எதிரனுப்பியாக : 89
தணிப்பானுக : 74, 181
கிரியை
ஆல்ஃபா நைட்ரஜன் கிரியை : 48, 49
ஆல்ஃபா வெளியிடு கிரியை : 55
எலக்ட்ரான் பாஸிட்ரான் கிரியை : 13
கதிர் வெளியிடு கிரியை : 55
கருக்கிரியை : 48
சக்தி ஏற்புக் கிரியை : 55, 374
சக்தி வெளியிடு கிரியை : 55, 374
நியூட்ரான் அணுஉலையில் புரியும் கிரியை : 76-84
பிளவுக் கிரியை : 55, 56, 57, 327, 328
பிணைவுக் கிரியை : 66, 328
புரோட்டான் வெளியிடு கிரியை : 55
கிரியை நிகழ்த்தும் வாய்ப்பு : 51
கிரியைப் பெருக்கம் : 78, 79
கிரியைப் பெருக்கம் தப்பும் வாய்ப்பு : 79
கிருமி அழிப்பு : 298
கிரேக்கர்களின் அணுக்கொள்கை : 26-27
கிழங்கு முளைவிடுதலைத் தடுத்தல் : 297
கிலோவாட் மணி : 13
கீழிறங்கும் அமைப்பு : 118
குண்டு
அணுகுண்டு : 61
பிளவு-பிணைவு குண்டு : 68
ஹைடிரஜன் குண்டு : 68
குவார்ட்ஸ் : 218
குள்ளத்தனம் : 240
குளிர்ப்பொறிமுறை : 113
குறிப்பீடு திறன் : 207
குறை கூற்று அளவு : 279
அதன் விளைவுகள் : 283, 289
குறைவேக நியூட்ரான் : 53
குழாய்களில் கசிவைக் காணுதல் : 312-313
கூடுநிலை (ஸெல்) : 268
கூலூம் விசை : 22, 64
கூலூம் விதி : 22
கூற்று அளவு : 279, 280
கூற்று அளவு 50/30
பல உயிரினங்களுக்கு : 280
கைகர் முல்லர் எண்ணிடு கருவி : 138, 140
கைகர் முல்லர் பகுதி : 138
கையுறைப் பெட்டி : 198, 251
கெல்வின் உஷ்ணநிலை அளவு முறை : 16
கேந்திரம்
அவசரநிலைக் கேந்திரம் : 363

கதிர் மருத்துவக் கேந்திரம் : 367
பாபா அணு ஆராய்ச்சிக் கேந்திரம் : 360
கேளா ஒலிச் சோதனை : 218
கொதிகலன் : 190, 194
கொதிநீர் அணுஉலை : 106
கோட்டா அணுஉலை : (கா) ராஜஸ்தான் அணுஉலை
கோட்பாட்டு அடர்த்தி : 213
கோபால்ட் 60 (திரவ மட்டமானியில்) : 311

ச

சக்தி
அடிப்படைத்துகள்களின் சக்தி : 10, 11
இயங்கு சக்தி : 9, 10, 12
ஒளி சக்தி : 9, 10, 12
கதிரியக்கத்திலிருந்து சக்தி : 46, 48
பிளவிலிருந்து சக்தி : 57, 374, 375
பிணைவிலிருந்து சக்தி : 68
மூலக்கூற்றின் சக்தி : 17
வெப்பசக்தி : 9, 10, 12
சக்தி அடக்கம் : 204
சக்தி அலகுகள் : 9, 15
சக்தி அழிவின்மைக் கொள்கை : 11
சக்தி ஏற்புக் கிரியைகள் : 55, 374
சக்திமாற்றத் திறமை : 12, 98
சக்திமாற்றம் : 12
சக்தியின் கீழ்வரம்பு : 16
சக்தியும் பொருண்மையும் : 12, 13, 327, 373, 374
சக்தி வெளியிடு கிரியை : 55, 374
சந்ததி விளைவுகள் : 239, 284
சமசீதோஷ்ணப் பிரதேசங்கள் : 340
சமநிலை
இயங்கு சமநிலை : 18
சக்தி சமநிலை : 148
பதார்த்த சமநிலை : 147
சமன்பாடுகளின் முக்கியத்துவம் : 3
சமுத்திர சஞ்சாரத்திற்கு அணு உலை : 115–117
சர்வதேச கதிர்வீச்சுத் தற்காப்புக் குழு : 244
அதன் அறிக்கை : 244–247
சாட்விக் : 52
சாதனம்
எரிபொருளூட்டும் சாதனம் : 200
தொலைக் கையாட்சி சாதனம் : 197
பராமரிப்பு சாதனம் : 196
வாயுநீக்கி சாதனம் : 110
சார்பிலா உஷ்ணநிலை அளவு முறை : 16
சார்பிலாப் பூஜ்யம் : 16
சான்டோவாக்ஸ் : 181
சிகாகோ (முதல் அணுஉலை) : 93, 169, 190
சிதறல்
ஆல்ஃபாச் 'சிதறல்' : 33, 34
ஒழுங்குச் சிதறல் : 32
தாம்ஸன் சிதறல் : 32
நியூட்ரான் சிதறல் : 53, 77
மடக்குச் சிதறல் : 33
சிதைவு மாற்றம் : 265
சிதைவு வகைகள் : 45
ஆல்ஃபாச் சிதைவு : 45, 46
கதிரியக்கச் சிதைவு : 43
பீட்டாச் சிதைவு : 45, 46
சிதைவு வீதம் : 306
சிறுநீர்ப் பகுப்பு முறை : 257
சின்னம் (அணுவின், மூலகத்தின்) : 40, 41

சுண்டெலி இறப்பும் கதிர்வீச்சளவும் : 281
சுயப்பிளவு : 65, 162
சுவாசிக்கும் காற்றின் அளவு : 246
சுற்றியக்கம் : 7
சுற்றுமுறை (ஆற்றி)
கலப்புச் சுற்றுமுறை : 107
நேர்ச் சுற்றுமுறை : 107
மறைமுகச் சுற்றுமுறை : 107
மிகைவெப்பச் சுற்றுமுறை : 108
சுழல் மின்னேட்ட முறை : 220, 221 [173
சுழல்விலகு விசையால் பகுத்தல் :
சுழல்வீச்சுப் பம்ப்பு : 194
சூட்டுவினை : 205
செயற்கைக் கதிர் ஐஸோடோப்புகள் : 303
செயற்கைச் சுவாசினிகள் : 250
ஆக்ஸிஜன் சுவாசினிகள் : 251
சுத்தக் காற்று சுவாசினிகள் : 251
வடிகட்டி சுவாசினிகள் : 251
செயற்கை மூலகங்கள் : 28
செருகு தண்டு : 201
செலவுகளின் வகைகள் : 232
உற்பத்திச் செலவு : 230, 233, 234, 235
நிலையான செலவு : 232
பராமரிப்புச் செலவு : 232, 233
முதலீட்டுச் செலவு : 232
செவிப்பறைக்குச் சேதம் : 338
செழிப்பூட்டப்பட்ட யுரேனியம் : 173
சேதமில் சோதனை : 218
சேதமில் தொல் பொருளாய்வு : 309, 310
சேமிப்புப் பள்ளங்கள் : 200
சேய் மூலகம் : 46
சோதனைகள்
தாம்ஸனின் சோதனைகள் : 30
எரிமூலகச் சோதனைகள் : 217-222
கேளா ஒலிச் சோதனைகள் : 218
சேதமில் சோதனைகள் : 218

ட

ட்ரிடியம்
அணுவின் அமைப்பு : 40
கதிரியக்கச் சுமை : 247
டக்ளஸ் பாயின்ட் : 109
டங்ஸ்டன் (தடுப்பானுக) : 188
டர்பைன் : 10, 12, 190, 194, 195
டாட்டா அடிப்படை ஆராய்ச்சி நிலையம் : 350, 366, 367
டாட்டா மெமோரியல் ஆஸ்பத்திரி: [367
டான்டலம்
உறையாக : 184
தடுப்பாக : 188
டி.என்.டி. வெடிமருந்து : 326
டியூடிரான் : 23
டியூடிரியம்
அணுவின் அமைப்பு : 40
ஆக்ஸைடு (கனநீர்) : 182
டிராகன் : 112
டிரிடன் : 117
டிராம்பே அணுஉலைகள் : 90, 352
டிரேஸர் முறை : 304, 321
டெமாக்ரீடஸ் : 27
டெர்ஃபீனைல் : 110
டெரிலீன் சட்டையும் பருத்திச் சட்டையும் : 231
டைன் : 9
டைனமோ : (கா) ‘ மின்ஜனனி ’
டோஸ் : 242
டௌதெர்ம் : 181

த

தங்கம் – 198 தயாரிப்பு : 302
தசக்குறைப்புத் தடிமன் : 249

தடிமன்
  அரைக்குறைப்புத்தடிமன் : 248
  தசக்குறைப்புத் தடிமன் : 249
தடிமன் கட்டுப்பாடு : 310, 311
தடுப்பான்கள் : 90, 187, 188
தடுப்பானாக
  எஃகு : 90, 103, 188, 249
  காரீயம் : 90, 188, 249
  கான்க்ரீட் : 90, 103, 188, 249, 250
  டங்ஸ்டன் : 188
  டான்டலம் : 188
  நீர் : 90, 103, 188, 249
தடுப்பு
  தற்காப்புத் தடுப்பு : 90, 102, 103
  வெப்பத் தடுப்பு : 102, 103
தடுப்புகளின் இயல்புகள் : 187
தணிக்கும் திறமை : 73
தணித்தல் : 19, 54
தணிப்பான் : 73, 101, 181-183
  அணுஉலையில் செய்யும் வேலை : 19
  நியூட்ரானுடன் மோதல் : 19
  விகிதம் : 73 - 74
தணிப்பானாக
  கனநீர் : 74, 181
  கிராஃபைட்டு : 74, 181
  நீர் : 74, 181, 182
  பெரில்லியம் : 74, 181
  ஹைடிரஜன் : 20
தணிப்பானின் தன்மைகள் : 74, 181
தரக் கட்டுப்பாட்டிற்குக் கதிர் வீச்சு : 310
தரச்சீரமைப்பு ஸ்தாபனம் : 361
தரைகீழ் வெடிப்பு : 337
தலைமுறை (வெப்ப நியூட்ரானின்): 79, 83
தற்காப்புத் தடுப்பு : 90, 102, 103
தற்காப்புத் துறை : 238
தற்காப்பு முறைகள் : 248
தன்மாத்திரைகள் : 26
தனக்குறு விளைவுகள் : 238
தனித்துவம் (செல்லின்) : 266
தாதுப் பொருள்கள்
  தோரியத்தின் : 174
  யுரேனியத்தின் 171
தாம்ஸன் : 30, 31
தாம்ஸன் அணுமாடல் : 33
தாம்ஸன் சிதறல் : 32
தாம்ஸனின் சோதனை : 30
தாமத நியூட்ரான்கள் : 85, 162
தாமத விளைவுகள் : 239, 273, 284
தாய் செல் : 266, 269
தாராப்பூர் அணுஉலை : 90, 106, 206, 354, 356
  அதன் எரிகற்றை : 214, 215
தாவர இயலும் கதிர்வீச்சும் : 294, 295
தாறுமாறான திசை நோக்கு : 205
தானியங்கு கட்டுப்பாட்டுத் திட்ட அமைப்பு : 149
தானியங்கு கட்டுப்பாடு : 148-149
திடநிலைக் கழிவுகளைக் களைதல் : 255
திடீர் நிறுத்தம் : 165
திணிவு [28
  ஆக்ஸிஜன் அணுவின் திணிவு :
  எலக்ட்ரான் திணிவு : 31
  புரோட்டான் திணிவு : 32
  நியூட்ரான் திணிவு : 18, 52
திணிவு இழப்பு : 374
திணிவு வேகம் : 21
திரவ உலோகங்கள் : 177, 180
  அவை ஆற்றும் அணுஉலை : 112, 113
திரவ எரிபொருள்கள் : 207 [65
திரவத்துளி மாடல் (கருவின்) : 63-
திரவநிலை ஆற்றிகள் : 179

திரவநிலைக் கழிவுகளைக் களைதல் : 254
திரவமட்டம் : 124, 131, 132
திரவமட்டமானி : 311, 312
திறன்
அணுஉலைகளில் : 14
அணுஉலையிலிருந்து : 104
குதிரைத்திறன் : 13
குறிப்பீடு திறன் : 207
திறன் அளவீட்டுப் பகுதிகள் : 161
திறன் இடைவெளி : 161
திறன் கட்டுப்பாடு : 150, 151
திறன் வட்டம் : 103-104
திறன் வட்ட வகைகள் : 107-109
துகள்
அடிப்படைத்துகள் : 10, 11, 23
ஆல்ஃபாத் துகள் : 42
எதிரியல் துகள் : 13
பீட்டாத் துகள் : 43
துகளுருவக் கதிர்வீச்சு : 132
துடிப்பு எதிரொலி முறை : 218-219
துணை நிறுத்தம் : 165
துண்டங்கள் : 333
துப்பாக்கி வகை அணுகுண்டு:331
தும்பா : 370
துருத்தி : 127, 128
விரிவடையும் துருத்தி : 102
துருவப் பிரதேசங்கள் : 340
துருவேரு எஃகு (எரிபொருள் உறையாக) : 96, 112, 184
துளைத்தகடு : 129, 130
தூண்டற் கதிரியக்கம் : 110, 178
தூண்டு மின்வெப்பமுறை : 209
தைராய்டு சுரப்பியும் அயோடின் 131உம் : 294, 316, 317
தேங்கிய கதிர்வீச்சு : 326, 333
தேல்ஸ் : 26
தொகுக்கும் கருவிகள் : 139
தொடக்கக் கருக்கதிர்வீச்சு : 326, 333
தொடக்குதல்
அணுஉலையை : 159
ஈனுலையை : 226
தொடர்கிரியை : 60, 70, 71
தொல் பொருளாய்வு : 309, 310
தொலைக்கையாட்சி : 190, 197
தொலைக்கையாட்சிச் சாதனங்கள் : 197
தொலைப்படக் காட்சி : 199
தொழில் துறையில் கதிர் ஐஸோடோப்பு : 310-316
தொழில்நுட்ப பௌதிகப் பிரிவு : 364
தோய்தல் (புரோட்டீன்) 273
தோராயக் கோல்கள் : 152, 153, 154
தோரிய உலோகம் தயாரிப்பு : 358
தோரியக் குடும்பம் : 46, 47
தோரியம்
இந்தியாவில் அதன் வளம் : 357
கண்டுபிடிப்பு : 41
கதிரியக்கச் சுமை : 247
குணங்கள் : 177
தாதுப் பொருள்கள் : 174
பிரித்தெடுத்தல் : 174
தோரியம்–232 : 57, 60, 62

ந

நச்சுப்பொருள்கள்
அணுஉலை நச்சுப்பொருள் : 88, 185
எரிவுறும் நச்சுப்பொருள் : 187
கரையக்கூடிய நச்சுப்பொருள் : 187
நதிகளை வழி திருப்பல் : 347
நயோபியம் (எரிபொருள் உறையாக) : 184
நவீன ரசவாதம் : 28, 48
நாகஸாகி : 325
நாற்காரணிச் சூத்திரம் : 79

நிக்கல்–63 (தரக் கட்டுப்பாட்டில்) : 310
நிகரப் பெருக்கிலக்கம் : 80
நியூக்ளியான் : 37
நியூட்ரான்
அணுக்கருவின் அமைப்பில் : 37, 52
அயனிக்க இயலாமை : 133
ஆயுட்காலம் : 85
இடையீட்டுச் செயல்கள் : 21, 53, 56
உட்கவர்தல் : 77
உற்பத்தி : 52
கிரகிப்பு : 53, 54, 55, 77
சிதறல் : 53, 77
தலைமுறை : 79, 83
பிளவு உண்டாக்கல் : 77
நியூட்ரான்–இரு நியூட்ரான் கிரியை : 55
நியூட்ரான் எண்ணிக்கை காலத்தோடு மாறல் : 84 - 86
நியூட்ரான் எண்ணிக்கை (பல வகைப் பிளவுகளில்) : 72
நியூட்ரான் கிரியைகள் (அணு உலையில்) : 76 - 84
நியூட்ரான் தணிப்பான் மோதல் : 19
நியூட்ரான் வேகமும் பிளவும் : 60
நியூட்ரான் வகைகள் : 52
இடைவேக நியூட்ரான் : 52, 91
ஒளி நியூட்ரான் : 162
குறைவேக நியூட்ரான் : 53
தாமத நியூட்ரான் : 85, 162
வெப்ப நியூட்ரான் : 17, 52, 73
வேக நியூட்ரான் : 17, 52
நியூ மெக்ஸிகோ : 325
நிர்மாண உறுப்புக்கள் : 197
நிர்மாணப் பொருள்கள் : 183–185
அவற்றின் தன்மை : 183
நிலவதிர்வு நிலையம் : 368
நிலைசக்தி : 9
நிலைமின் அலகு : 22, 23
நிலைமின்விசை : 22
நிலைய எண் : 234
நிலையம் :
அணுவெடிப்பு உளவு நிலையம் : 368
அதி உயர ஆராய்ச்சி நிலையம் : 367, 368
நிலவதிர்வு நிலையம் : 368
நிலையான ஐஸோடோப்பு : 43
நிலையான மூலகம் : 43
நிலையான செலவுகள் : 232
நீச்சல்குள அணுஉலை : 352
நீர்
ஆற்றியாக : 97, 179, 180
எதிரனுப்பியாக : 89
தடுப்பானாக : 90, 103, 188, 249
தணிப்பானாக : 94, 181, 182
நீர்கீழ் வெடிப்பு : 336–337
நீர்த்தேக்கங்களை உண்டாக்கல் : 348
நீர்மட்டக் கட்டுப்பாடு : 147
நீரியலில் கதிர் ஐஸோடோப்பு : 308–309
நீல்ஸ் போர் : 63
நீள்கால விளைவுகள் : (கா) தாமத விளைவுகள்
நீள்சுருள் : 127
நீராவி டர்பைனின் அமைப்பு : 195
நீராவிப் பீப்பாய்கள் : 194
நுண்ணுயிர் கொல்லி மருந்து : 290
நுண்தகடு : 127, 128
நுட்பக் கோல்கள் : 152, 154–155
நுரையீரல் சேதம் : 338
நெப்டூனியக் குடும்பம் : 46
நெருப்புப் பந்து : 334, 335
நெருப்புப் பந்தும் காற்று மண்டல

மும் : 341–343
நேர்கோட்டியக்கம் : 7
நேர்ச் சுற்றுமுறை : 107
நேர்முக உடற்கதிரியக்கச்சுமை அளவுமுறை : 257
நேர்விகித எண்ணிடு கருவி : 138, 140
நேர்விகிதப் பகுதி : 138
நைட்ரஜன்–ஆல்ஃபா த்துகள் கிரியை : 48, 49
நைட்ரஜன்–கார்பன் வட்டம் : 67
நோய் எதிர்ப்பொருள் : 288

ப

ஃப்ரிஷ் : 56
பச்சை வில்லை : 213
அதன் பரிமாணம் : 213
படச் சட்ட அமைப்பு முறை : 214
படிகத் தொகுப்புகளின் அமைப்பு : 220
படிவு கோளம் : 340
படிவுப் பாறைகள் : 243
பண்பக இழைகள் : 268, 275
பண்பக இழை முறிதல் : 276
பண்பகத்திரி : 239, 267
பண்பகத்திரி மாற்றங்கள் : 274
பண்பகத்திரி மாறுதலுக்குக் காரணங்கள் : 278
பண்பகத்திரி முறிதல் : 276
பண்பகத்திரியின்
திரிபுற்ற வடிவம் : 276
பழுதுடை வடிவம் : 276
பண்பகம் : 239, 267
பண்பகமும் கதிர்வீச்சும் : 273–278
பண்புகள்
ஆற்றியின் பண்புகள்: 177, 178
எரிபொருளின் பண்புகள் : 170
தடுப்பானின் பண்புகள் : 187
தணிப்பானின் பண்புகள் : 74, 181
தோரியத்தின் பண்புகள் : 177
நிர்மாணப் பொருளின் பண்புகள் : 183
புளூட்டோனியத்தின் பண்புகள்: 177
யுரேனியத்தின் பண்புகள் : 175
பணிபுரியும் காலம் : 244
பணிபுரிவோர் (அணுத்துறையில்): 244
பதஞ்சலி : 26
பம்ப்பு
ஆற்றிப் பம்ப்பு : 191–194
சுழல்வீச்சுப் பம்ப்பு : 194
மின்காந்தப் பம்ப்பு : 192
பம்ப்பின் அமைவிடம் : 191
பயன்தரு காலம் : 234
பயன்தரு பிறழி : 295, 322
பயிற்சிப் பள்ளி : 368
பராமரிப்பு சாதனங்கள் : 196
பராமரிப்புச் செலவுகள் : 232, 233
பரிமாற்றி
அயனிப் பரிமாற்றி : 101
வெப்பப் பரிமாற்றி : 105, 194
பருத்திச் சட்டையும் டெரிலீன் சட்டையும் : 231
பருவநிலையை மாற்றல் : 348
பலபடித்தான அணுஉலைகள் : 91
பலஸெல் உயிரினங்கள் : 266
பள்ளங்களை உண்டாக்கல் : 346
பாக்டீரியா : 288
பாகுநிலை : 124
பாதாள நீர்த்தேக்கங்களின் வயது: 309
பாதுகாப்பு முறைகள்
அணுஉலையை : 164, 165
கதிர்வீச்சிலிருந்து : 197, 199
பாபா (அமரர் டாக்டர்) : 370
பாபா அணு ஆராய்ச்சிக் கேந்திரம் : 295, 296, 360
பாய்திரள்
நியூட்ரான் பாய்திரள் : 150
வெப்பப் பாய்திரள் : 180

பாய்திரள் கட்டுப்பாடு : 159
பாய்பொருள் ஒட்டவீதம் : 124, 128–131
பார்ன் : 51
ஃபாரடே : 28
பாரஃபின் மெழுகு : 20, 249
பாரம்பரிய விளைவுகள் : (கா) சந்ததி விளைவுகள்
பால இணைப்பு : 277
பாலின செல்கள் பிரிதல் : 269, 271
பாறைகளைப் பெயர்த்தல் : 346
பாஸ்டர் முறை : 298
ஃபாஸ்ஃபர்கள் : 141 [294
பாஸ்ஃபரஸ் 322ம் குருதிப்புற்றும்:
பாஸிட்டிவ் கதிர்கள் : 32
பாஸிட்ரான் : 13, 373 [13
பாஸிட்ரான் எலக்ட்ரான் கிரியை :
பாஸிட்ரான் மின்னேற்றம் : 23
ஃபாஸில் : 321
பிக்வா : 112, 216
பிகினித்தீவு : 337
பிசிர்கள் : 222
பிட்ச் பிளண்டு : 171
பிணைப்பு விசை : 327
பிணைவுக் கிரியை : 66, 328
பிணைவுக்கு ஒரு விளக்கம் : 67
பிணைவுபற்றிய ஆராய்ச்சி : 68-69
பிணைவில் வெளிப்படும் சக்தி : 68
பியரி க்யூரி : 41
பிரத்தியேகக் கையாளும் முறைகள் : 199
பிரதேசங்கள்
சமசீதோஷ்ணப் பிரதேசம்: 340
துருவப் பிரதேசம் : 340
வெப்பப் பிரதேசம் : 340
பிரிநிலை (செல்லின்) : 268
பிரிவுகள் (பாபா அணு ஆராய்ச்சி கேந்திரத்தின்)
அணுஉலை இயக்கும் பிரிவு : 360
அணுஉலைப் பொறியியல் பிரிவு: 359
அணுக்கனிப் பொருள் பிரிவு : 357
உயிரியல் பிரிவு : 362
உலோகவியல் பிரிவு : 359
எலக்ட்ரானியல் பிரிவு : 360, 361
ஐஸோடோப்புப் பிரிவு : 366
கழிவுப் பொருள் கையாளும் பிரிவு : 362
கதிரியக்கக் காப்புப் பிரிவு : 363
தொழில்நுட்ப பௌதிகப் பிரிவு : 364
ரசாயனப் பிரிவு : 365
பில்லியர்டு பந்து மோதல்கள் : 19
ஃபிலிம் அளவுமுறை : 258
பிளவிலிருந்து வெளிவரும் சக்தி : 57, 374, 375
பிளவு (அணுப்பிளவு, கருப்பிளவு): 55–57, 327, 328, 375
சுயப்பிளவு : 65, 162
பிளவு அறை அளவு கருவிகள்:140
பிளவு ஆயுதம் : 327
பிளவுக்கு ஒரு விளக்கம் : 65
பிளவுத் துண்டங்கள் : 58
பிளவு நியூட்ரான் எண்ணிக்கை : 72
பிளவுபடு பொருள்கள் : 57, 60, 357
பிளவு-பிணைவு ஆயுதம் : 68, 329
பிளவும் நியூட்ரான் வேகமும் : 60
பிளவும் நியூட்ரானும் : 77
பிளவு விளைபொருள் : 58
பிளவு விளைபொருள் விகிதாசாரம்: 58, 59
பிளாஸ்டிக் ஆடை : 253
பிளாஸ்மா (அயனிகளின்) : 69
பிளாஸ்மா (ரத்தத்தின்) : 364
பிழை சமிக்ஞை : 149
பிறழ்ச்சி : 273

பிறழி : 273
பின்வாங்குதல் : 165
பிஸ்டன் வளையங்களின் தேய்வை அறிதல் : 314
பீட்டட்ரான் : 50
பீட்டாக்கதிர்கள் : 42
பீட்டாச் சிதைவு : 45, 46
பீட்டாத் துகள்
அயனிக்கும் தன்மை : 133
ஊடுருவும் தன்மை : 248
மின்னேற்றம் : 23,43
புகைக் கூண்டு : 251, 252
புதுப்பிக்கும் ஆலை (கனநீர்) : 359
பர்ஷேன் வாயு : 3
புரோட்டான் : 32
அணுக்கரு அமைப்பில் பங்கு : 36
திணிவு : 32
மின்னேற்றம் : 23
புரோட்டான் புரோட்டான் வட்டம்: 67
புரோட்டான் வெளியிடு கிரியை : 55
புரோட்டீன்கள் தோய்தல் : 273
புரோட்டோபிளாஸம் : 266
புவிபௌதிகம் : 307
புளூட்டோனிய ஆலை (டிராம்பே) : 365, 366
புளூட்டோனியம்–239 :
அணுகுண்டில் பயன்படுதல் : 328
உருகு நிலை : 216
எரிமூலகம் தயாரிப்பு : 216
கதிரியக்கச்சுமை : 247
பண்புகள் : 177
பிளவிலிருந்து 'நியூட்ரான்கள் : 72
பிளவு முகப்பரப்பு : 72
புற்றுநோய்
ஏற்படக் காரணம் : 292
கதிர்வீச்சு சிகிச்சை : 292
வகைகள் : 292
புறக்கட்டுப்பாட்டு முறை : 157-158
புறவீழ்வு : 340-346
உலகப்'புறவீழ்வு : 340, 342, 343
உள்ளூர்ப் புறவீழ்வு : 340, 342
மாறுகோளப் புறவீழ்வு : 343
புறவீழ்வில் சில முக்கியமான ஐஸோடோப்புகள் : 344
புறவீழ்வு வகைகளின் இயல்புகள் : 343, 344
புறவீழ்வு கண்டுபிடிக்கும் நிலையங்கள் : 368
புறவீழ்வைத் தவிர்த்தல் : 345
புனரிணைவு : 136
ஃபுளோரின் (ராக்கெட் எரிபொருளாக) : 119
பூகாந்த மத்திய ரேகை : 370
பூச்சி இயலில் கதிர் ஐஸோடோப்பு : 295
பூதாதிகள் : 26
பெக்கரல் : 41, 237
பெக்கர் : 51
பெத்தே : 66
ஃபெர்மி : 93
பெரில்லியம்
அணுவின் அமைப்பு : 38
எதிரனுப்பியாக : 89
எரிபொருள் உறையாக : 111, 184
தணிப்பானுக : 74, 181
நியூட்ரானைத் தருதல் : 52, 331
பெரிஸ்கோப்புகள் : 198
பெருக்கிலக்கம்
நிகரப் பெருக்கிலக்கம் : 80
முடிவற்ற அணுஉலையின் பெருக்கிலக்கம் : 79
பெருங்காற்று அலை : 326
பேடலியைட் : 185
பேரைட்ஸ் : 188

பேஞ டோஸ்மானி : 258
பொட்டாசியம் (ஆற்றியாக) : 97
பொட்டாசியம்–40 உடலுக்குத் தரும் டோஸ் : 243
பொருண்மையும் சக்தியும் : 12, 13, 327, 373, 374
பொருண்மையிழப்பும் அணுசக்தியும் : 13
பொருள்கள்
நிர்மாணப் பொருள்கள் : 183-185
பிளவுபடு பொருள்கள் : 57, 60, 357
வளமுடைப் பொருள்கள் : 62, 357
பொருள்களின் நிலைகள் : 15
பொலோனியம் கண்டுபிடிப்பு : 41, 238
பொலோனியம் பெரில்லியம் கலவை : 331
பொறியியல் பொருளாதாரம் : 236
ஃபோட்டான் : 13, 373
போத்தே : 51
போராக்ஸ்–1 : 106
போரால் : 188
போரான்
அணுஉலைக் கட்டுப்பாட்டில் : 88, 151
நியூட்ரான் தடுப்பாக : 188
நியூட்ரானைத் தருதல் : 52
போர் : 63
போர்டன் குழல் : 127
போல்ட்ஸ்மன் நிலையெண் : 17
பௌதிகத்தின் சில பிரிவுகள் : 6
பௌதிக மாறிகள் : 123, 124

ம

மக்னீசியம் (எரிபொருள் உறையாக) : 111
மசவு எண்ணெய் : 315
மட்டச் சுருள் : 127
மடக்குச் சிதறல் : 33
மடங்குகள் (அளவைகளின்) : 11
மணிமேகலையில் அணுக் கொள்கை : 26
மத்திய நரம்பு மண்டலம் : 291
மருத்துவத் துறையில் கதிர் ஐஸோடோப்பு : 316-318
மறைமுகச் சுற்றுமுறை : 107
மறைநிலை (செல்லின்) : 268
மனிதனுக்குள்ள பண்பகத்திரிகளின் எண்ணிக்கை : 269
மஜ்ஜை : 291
மாற்ற நிற்பு : 340
மாற்றுலைகள் : 225
மாறிகள் : 123, 124
மாறுகோளம் : 340
மாஞ்ஜேஸைட் : 171
மிகுகூற்று அளவு : 279, 282
மிகை வெப்பச் சற்றுமுறை : 108
மிட்டோஸிஸ் : 269, 270
மியோஸிஸ் : 269, 272
மில்லிக்கன் : 31
மின்காந்தக் கதிர்கள் : 43, 45, 132
மின்காந்தப் பம்ப்பு : 192
மின்காந்தப் பிடிகள் : 151
மின்காப்பு : 140
மின்கோபுரங்கள் : 10, 235
மின்சக்தி : 10, 12
மின்சாரச் செலுத்துகை : 235
மின்சாரவியல் : 6
மின்தடை மாற்றத்தால் உஷ்ண நிலையை அளத்தல் : 126
மின்பகுப்பு : 29, 182
மின்புலத்தில் அயனி ஜதைகள் போக்கு : 134
மின் பெருக்கி : 140
மின்னழுத்தமும் அயனிஜதை எண்ணிக்கையும் : 135
மின்னேற்றத் திணிவு விகிதம் : 30

மின்னேற்றம் கொண்ட பொருள்களிடை விசை : 22
மின்னேற்றம் : 21
அடிப்படைத்துகளின் : 23
அயனிகளின் : 23
அலகுகள் : 22, 23
ஆல்ஃபாத் துகளின் : 23, 43
எலக்ட்ரானின் : 23, 31
டியூடிரானின் : 23
பாஸிட்ரானின் : 23
பீட்டாத் துகளின் : 23, 43
புரோட்டானின் : 23
வகையும் அளவும் : 21, 23
மின்ஜனனி : 10, 12, 104, 190
மீட்சி மோதல் : 19, 20, 53
மீட்சியிலா மோதல் : 19, 21, 54
மீன் பதப்படுத்தல் : 297
முக்கியச் சேத உறுப்பு : 246, 294
முகப்பரப்பு : 50-51, 72
முடிவற்ற அளவுடைய அணுஉலை : 76-80
அதன் பெருக்கிலக்கம் : 79
முடிவுடைய அளவுள்ள அணு உலை : 80-84
முதலீட்டுச் செலவுகள் : 232
முளைக்கருவும் கதிர்வீச்சும் : 284
முளைவிடுதலைத் தடுத்தல் : 297
முழுச்சுற்றுக் கட்டுப்பாட்டு முறை : 149
முழுவுடல் கதிரூட்டல் : 290
மூலக்கூறுகள் : 15, 35, 36
அவற்றின் சக்தி : 17
மூலக (ஆவர்த்த) அட்டவணை : 36
மூலகக் கொள்கை : 28
மூலகங்களின் பட்டியல் : 379-381
மூலகம்
கனமூலகம் : 48
செயற்கை மூலகம் : 28
நிலையான மூலகம் : 43
லேசான மூலகம் : 48
மூவகைக் கதிர்கள் : 41, 42
மூளைக்கழலைக்குச் சிகிச்சை : 293 294, 317
மெகாடன் ஆயுதம் : 329
மெழுகு (பாரஃபின்) : 20, 249
மேக்னுக்ஸ் (எரிபொருள் உறை) : 184, 212
மேரி க்யூரி : 41
மேற்பரப்பு வெடிப்பு : 337, 338
மைட்னர் : 56
மைய ஒட்டு : 269
மையமில்லா அரைப்பான் : 213
மோதல்
இயக்கவியலில் மோதல் : 21
பில்லியர்டு பந்து மோதல் : 19
மீட்சி மோதல் : 19, 20, 53
மீட்சியிலா மோதல் : 19, 21, 54

ய

யிட்ரியம்-90 (அணுமின்கலத்தில்) : 320
யு. எஸ். எஸ். நாட்டிலஸ் : 115
யு. எஸ். எஸ். ஸ்கேட் : 117
யுராணைட் : 171
யுரேனிய ஆக்ஸைடு : 176, 206
யுரேனிய ஆலை : 357
யுரேனிய உலோகக் கலவைகள் : 176, 205
யுரேனிய எரிவிலிருந்து சக்தி : 376
யுரேனிய உலோகம் தயாரித்தல் : 358
யுரேனியக் கார்பைடு : 176, 206
யுரேனியக் குடும்பம் : 46
யுரேனிய டையாக்ஸைடைப் பிரித்தெடுத்தல் : 172
யுரேனியத்திற்குச் செழிப்பூட்டல் : 173
யுரேனியத்தின் தாதுப் பொருள்கள் : 171

யுரேனியம்
இந்தியாவில்கிடைக்கும் அளவு : 171, 357
இயற்கையில் கிடைக்கும் அளவு: 171
கதிரியக்கச் சுமை : 247
குணங்கள் : 175, 176
குறைபாடுகள் : 205
புறவேற்றுமை நிலைகள் : 176, 205
யுரேனியம்-காரீயம் விகித அளவீடு : 307
யுரேனியம் (தணிப்பானுக) : 74
யுரேனியம் (இயற்கை) பிளவு முகப்பரப்பு : 72, 170
யுரேனியம்-233 : 57, 60, 62, 171
பிளவு நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை : 72
பிளவு முகப்பரப்பு : 72
யுரேனியம்-235 : 57, 59, 60, 170
அணுகுண்டில் பயன்படுதல் : 328
பிளவு நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை : 72
பிளவு முகப்பரப்பு : 72
யுரேனியம்-238 ; 57, 60, 171, 62
பிளவு முகப்பரப்பு : 72
யூனிட்டுகள் : 14

ர

ரசவாதிகள் : 27, 28 [327
ரசாயன சக்தியும் கருசக்தியும் :
ரசாயனப் பரிமாற்றம் : 182
ரசாயனப் பிரிவு : 365
ரத்த ஓட்ட ஆய்வில் கதிர் ஐஸோடோப்பு : 317
ரத்த நாள வெடிப்பு : 338
ராக்கெட் : 119- [121
அணுஉலை உந்தும் ராக்கெட் :
விவரமறி ராக்கெட் : 370
ரசாயன உந்துபொருள் ராக்கெட் : 121
ராக்கெட்டின் வீச்சு : 119
ராசிகளின் அலகுகள் : 14
ராண்ட்ஜன் : 237 [241
ராண்ட்ஜன் (கதிர்வீச்சு அலகு) :
ராணு ப்ரதாப்சாகர் அணுஉலை : (கா) ராஜஸ்தான் அணுஉலை
ராஜஸ்தான் அணுஉலை : 90, 201, 203, 206, 354, 356
அதற்குத் தேவையான எரிபொருள் : 204 [225
அதில் வளப் பொருள் மாற்றம்':
ரியாக்டிவிடி : 82, 84 [106
ரியாக்டிவிடியும் உஷ்ண நிலையும் :
ரியாக்டிவிடியைக் கட்டுப்படுத்துதல் : 150, 151, 153, 154
ருதர்ஃபோர்டு : 33, 41
ருதர்ஃபோர்டு அணுமாடல் : 34
ருபிடியம்-ஸ்ட்ரான்ஷியம் விகித அளவீடு : 307
ரெம் : 242
ரேடியம் கண்டுபிடிப்பு : 41, 238
ரேடியம் புற்றுநோய்ச் சிகிச்சையில் : 293
ரேடியம்-226
அரை ஆயுள் காலம : 241
கதிரியக்கச் சுமை : 247
ரோட்டா மீட்டர் : 130, 131
ரோவர் : 120

ல

லக்கி டிராகன் : 345
லிதியம் அணுவின் அமைப்பு : 38
லிவர்மூர் : 346
லுகீமியா : 240, 244
லூஸிஃபஸ் : 27
லெனின் (பனி உடைக்கும் கப்பல்) : 106
லேசான மூலகம் : 48

வ

வடிகட்டும் சுவாசினிகள் : 251
வடிநிலை (செல்லின்) : 268
வண்டல்மண் படிவை ஆராய்தல் : 313
வரம்படங்கிய நிலை : 82
வரம்புத் திணிவு : 61, 75
வரம்பு நிலை : 61
வரம்பு நிலை எண் : 81
வரம்பு நிலைக் கன அளவு (வரம்புக் கன அளவு) : 61, 74, 75
வரம்பு மீறிய நிலை : 82
வளப் பொருள் மாற்றம் : 225
வளமுடைப் பொருள்கள் : 62, 357
வளர்ச்சி
உயிரின் வளர்ச்சி : 266
செல்லின் வளர்ச்சி 266
வளர்ச்சி எண் : 81
வளர்ச்சி மாற்றம் : 265
வளர்சிதை மாற்றம் : 245, 265
வழிகாட்டிப் புத்தகங்கள் : 2
வாட் : 13
வாய்ப்பு
கிரியை நிகழ்த்த வாய்ப்பு : 51
கிரியைப் பெருக்கம் தப்பும் வாய்ப்பு : 79
வாயு ஆற்றி அணுஉலைகள் : 111
அதிஉஷ்ணநிலை வாயு ஆற்றி அணுஉலைகள் : 112
வாயுக்களின் இயக்கக் கொள்கை : 16
வாயுநிலை ஆற்றிகள் : 178-179
வாயுநிலைக் கழிவுகளைக் களைதல் : 254
வாயுநிலையில் பரவுதல் : 173
வாயுநீக்கி சாதனம் : 110
வாயுப்பெருக்க எண் : 137
வார்ப்பிலுள்ள பழுதுகளை அறிதல் : 315
வார்ப்பு அச்சு : 209
வார்ப்புமுறை (உட்செலுத்து) : 216-217
வார்ப்பெடுத்தல் : 208
வாழ்க்கைப் போராட்டம் : 295
வான்-டி-கிராஃப் வேகவளர்த்தி : 50, 365
வான ஊர்திகளில் அணுஉலை : [117
விசை : 6, 8-9
கருவிசை : 64
நிலைமின்விசை : 22
பிணைப்பு விசை : 327
விசையின் அலகு : 9
விசையும் எடையும் : 8
விஞ்ஞான ஆராய்ச்சிக்கு உதவி (இந்தியாவில்) : 369
விஞ்ஞானத் துறையில் கதிர் ஐஸோடோப்பு : 305-308
விண்வெளி ஆராய்ச்சி (இந்தியாவில்) : 369
விண்வெளி ஆராய்ச்சிக் கமிட்டி (இந்திய) : 369
விண்வெளிப் பயணத்திற்கு அணுஉலை : 119
விரிவடையும் துருத்திகள் : 102
விவரமறி ராக்கெட்டு : 370
விளையூறுகள் : 237, 238
விளைவுகள்
அதிசக்திக் கரு ஆயுதங்களின் விளைவுகள் : 339
உடனடி விளைவுகள் : 239
கதிர்வீச்சின் விளைவுகள் : 238, 240, 279
குறைகூற்று அளவின் விளைவுகள் : 283, 289
சந்ததி விளைவுகள் : 239, 284
தனக்குறு விளைவுகள் : 238
தாமத விளைவுகள் : 239, 273, 284
பாரம்பரிய விளைவுகள் : 239, [284
விளைவு காலம் : 160

விழித்திரை எரிப்பு : 338
வெடிப்பின் விளைவுகள் : 338-339
வெடிப்பு உண்டாகத் தேவையான அமைப்பு : 332
வெடிப்பு சக்தியின் பங்கீடு : 332
வெடிப்பு முறைகள் : 333-338
வெடிப்பு வகைகள்
அணுவெடிப்பு : 336
அதிஉயர வெடிப்பு : 326
கருவெடிப்பு : 326
காற்று வெடிப்பு : 334
தரைகீழ் வெடிப்பு : 337
நீர்கீழ் வெடிப்பு : 337
மேற்பரப்பு வெடிப்பு : 337
வெடிவைப்பான் : 331
வெப்ப அணுஉலை : 90
வெப்ப இயல் : 6
வெப்ப உலோகவியல் முறை : 224
வெப்பக் கதிர்வீச்சு : 326
வெப்பக் கரு ஆயுதங்கள் : 68, 329
வெப்பக் கருக்கிரியைகள் : 66
வெப்ப சக்தி : 9, 10, 12
வெப்பத் திறமை : 105
வெப்ப நியூட்ரான் : 17, 52, 53
அணுஉலை : 90
சக்தி : 17, 53
தடுப்பு : 102, 103
தலைமுறை : 83
பிளவு முகப்பரப்பு : 72
வேகம் : 18, 73, 377, 378
வெப்ப நீக்க வீதம் : 97
வெப்பப் பரிமாற்றிகள் : 105, 194
வெப்பப் பரிமாற்றி வகைகள் : 193
வெப்பப் பாய்திரள் : 180
வெப்பப் பிரதேசங்கள் : 340
வெப்ப மின்சார இரட்டை : 126
வெப்ப மின்சாரம் : 126
வெல்டிங் : 209
மின்தடை வெல்டிங் : 213
வெளிநாட்டவர்க்கு அணுத்துறையில் பயிற்சியளித்தல் : 369
வெளியேறு விகிதக் கட்டுப்பாடு : 89
வெற்றிட உருக்குமுறை : 209, 211
வென்ச்சூரி : 130
வேக ஈனுலைகள் : 92
வேகத்தளர்ச்சி வீதம் : 7-8
வேக நியூட்ரான் : 17, 52
அணுஉலை : 91
ஈனுலைகள் : 92
தடுப்பு : 20
பிளவு முகப்பரப்பு : 72
மீட்சியிலா மோதல் : 20
வேகம் : 7
வேகமாற்ற வீதம் : 8
வேகவளர்ச்சி வீதம் : 7, 8
வேகவளர்த்தி : 50, 302
அதில் ஐஸோடோப்பு தயாரிப்பு: [302
வேலை : 9
வேளாண்மையில் கதிர் ஐஸோடோப்பு : 318, 319
வைரங்களை உண்டாக்கல் : 347

ஜ

ஜப்பானில் அணுகுண்டால் சேதம் : 339
ஜாதுகுடா : 171, 351, 357
ஜான்ஸ்டன் தீவு : 336
ஜிர்க்கான் (எரிபொருள் உறையாக) : 185
ஜிர்க்கலாய் (எரிபொருள் உறையாக) : 96, 185
ஜிர்க்கோனியம் (எரிபொருள் உறையாக) : 96, 185
ஜிர்க்கோனியம் பிரித்தெடுக்கும் முறை : 185-186
ஜூல் : 13
ஜெனுன்-135 : 87
ஜெனேஃபன் : 26
ஜெர்லினு அணுஉலை : 353

ஜோலியோ : 51

ஷ

ஷிப்பிங்போர்ட் அணுஉலை : 106

ஸ

ஸ்காண்டியம்–46 (வண்டல் படிவு ஆராய்வு) : 313
ஸ்ட்ராஸ்மன் : 56
ஸ்ட்ரான்ஷியம்–90
அணுமின்கலம் : 320
எக்ஸ்கதிர் சாதனம் : 319-320
கதிரியக்கச் சுமை : 247
ஸ்திரநிலை : 44, 45
ஸ்திரமற்ற நிலை : 44
ஸமேரியம்-149 : 87
ஸாராபாய் (டாக்டர்) : 369
ஸின்டரிங் : 209, 213
ஸீஷியம்–137
கதிரியக்கச் சுமை : 247
புறவீழ்வில் : 344
மண்தரம் அறியப் பயன்படுதல் : 319
ஸெல் : 264, 265
அமைப்பு : 265
அழிவு : 278, 279
இனவிருத்தி ஸெல்கள் : 239
செயல்வினை : 265
சேய் ஸெல் : 266, 269
ஸெல் கரு : 265
ஸெல் சுவர் : 265
ஸெல் பிரிவு : 266, 267
ஸெல் பிரிவு நிலைகள் :
ஒய்வுநிலை : 267
கூடுநிலை : 268
பிரிநிலை : 268
மறைநிலை : 268
வடிநிலை : 268
ஸெல்லில் கதிர்வீச்சு விளைவுகள் : [271-273
ஸெரமிக் : 176, 254
ஸைக்ளோட்ரான் : 50, 302
ஸைட்டோபிளாஸம் : 265
ஸைரஸ் அணுஉலை : 109, 199, 209, 352
அதன் எரிமூலகம் : 210
ஸோடியம் (ஆற்றியாக) : 97, 180
ஸோடியம்–24 : 113, 180
ஸோடிய பொட்டாசியக் கலவை : 112, 180

ஹ

ஹாஃப்னியம் (கட்டுப்பாட்டுப் பொருள்) : 186
ஹார்மோன்கள் : 271
ஹான் : 56
ஹிரோஷிமா : 325
ஹீலியம்
அணுவின் அமைப்பு : 38
ஆற்றியாக : 97, 179
ஹெமோஃபிலியா : 240
ஹெராக்லிடஸ் : 26
ஹேமடைட் : 188
ஹேஸ்டல்லாய் (எரிபொருள் உறையாக) : 112
ஹைடிரஜன்
அணுவின் அமைப்பு : 38
அணுவின் திணிவு : 28
ஐஸோடோப்புகள் : 40, 328
ஆற்றியாக : 179
ராக்கெட் எரிபொருளாக : 119

ஆங்கிலச் சொற்கள்

A.G.R. அணுஉலை : 112
E.B.R.-அணுஉலை : 112
E.B.W.R. அணுஉலை : 109
E.G.C.R. அணுஉலை : 112
N.P.D. அணுஉலை : 109
N.R.X. அணுஉலை 109
O.M.R.E. அணுஉலை : 111
pH அளவை : 101